

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO DE
GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL: UMA
ANÁLISE INDUSTRIAL**

LILIA CAIADO COELHO BELTRÃO COUTO

Matrícula nº: 107327200

ORIENTADOR: Prof.: Carlos Eduardo Frickmann Young

ABRIL 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE ECONOMIA
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**CUSTOS MARGINAIS DE ABATIMENTO DE
GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O BRASIL:
UMA ANÁLISE INDUSTRIAL**

LILIA CAIADO COELHO BELTRÃO COUTO

Matrícula nº: 107327200

ORIENTADOR: Prof.: Carlos Eduardo Frickmann Young

ABRIL 2012

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade da autora.

AGRADECIMENTOS

Devo agradecer em primeiro lugar ao meu chefe-mestre Ronaldo Seroa da Motta pela oportunidade de fazer parte da sua equipe, absorvendo cada dia um pouco mais do seu vasto conhecimento na área pela qual me apaixonei. Obrigada pela paciência e boa vontade em dividi-lo. Devo também agradecer imensamente ao meu orientador, Prof. Carlos Eduardo Young, por ter me trazido de volta ao meu objetivo quando cursei a disciplina Economia do Meio Ambiente, e por ter me incentivado tanto desde então. E não posso deixar, é claro, de agradecer à minha co-orientadora e parceira de tantas horas Luiza Maia de Castro por tudo que eu aprendi com esta parceria.

No que se refere à graduação como um todo, agradeço aos grandes mestres que encontrei no Instituto de Economia; aos maravilhosos amigos e amigas que o Instituto de Economia me permitiu encontrar, e aos grandes responsáveis pela minha chegada até aqui: minha mãe, Marcela, meu pai, Fabrício, e José Bruno Fevereiro.

Devo também agradecimentos especiais a minha madrastra querida, Rosane, pelas horas intermináveis de trabalho braçal na construção do principal gráfico desse trabalho (e por mais muitas horas de atenção às questões existenciais de uma graduanda, ao longo desses anos); a Mariana Moreira, cujo apoio tem sido crucial para que eu consiga manter o centro; a Marilene Ramos e aos meus tios Aguinaldo e Elisa pela torcida; e aos meus avós, Elda e Amarílio pela paz que me proporcionaram para que eu pudesse concretizar a monografia.

Por fim, gostaria de agradecer à minha avó Magaly, que dizia que realizaria em mim o sonho de poder fazer algo que na sua época era “profissão de homem”.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar as oportunidades setoriais de redução de emissões de gases de efeito na indústria brasileira, através da construção de uma curva de custos marginais de abatimento de emissões (MACC). São colocadas nesta curva doze medidas de mitigação a serem adotadas por cada um dos onze segmentos industriais analisados. Seus custos foram calculados em uma abordagem tecnológica, durante o processo de construção do “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil”, pelo Banco Mundial em parceria com instituições brasileiras como a COPPE/UFRJ e o Instituto Nacional de Tecnologia. A MACC industrial brasileira aponta melhor potencial para os mesmo setores apontados pelos estudos realizados anteriormente, porém, apresenta também ineficiências na adoção das medidas com os mais baixos custos.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN – Balanço Energético Nacional

CH₄ - Gás Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO₂e – Equivalente de Dióxido de Carbono

FHC – Presidente Fernando Henrique Cardoso

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MAC – Custos Marginais de Abatimento

MACC – Curvas de Custos Marginais de Abatimento

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas

Tep – Toneladas Equivalentes de Petróleo

VPL – Valor Presente Líquido

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 8 |
| CAPÍTULO I – CONTEXTUALIZAÇÃO..... | 11 |
| I.1 – O Brasil no contexto das mudanças climáticas..... | 11 |
| I.1.1 - O contexto global | 11 |
| I.1.2 – A responsabilidade brasileira..... | 14 |
| I.2 – As MACC | 17 |
| I.3 – As MACC construídas para a economia brasileira..... | 19 |
| I.3.1 – McKinsey & Company: Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil | 20 |
| I.3.2 - Banco Mundial: Estudo de Baixo Carbono para o Brasil | 24 |
| CAPÍTULO II - A INDÚSTRIA BRASILEIRA E SEU POTENCIAL PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO..... | 30 |
| II.1 A indústria brasileira..... | 30 |
| II.1.2 A evolução da indústria no Brasil | 31 |
| II.1.3 O Consumo energético e as emissões de CO ₂ e industriais no Brasil..... | 33 |
| II.3 Os segmentos industriais | 35 |
| CAPÍTULO III. A curva MACC para a indústria brasileira..... | 49 |
| III.1 As opções tecnológicas para mitigação..... | 49 |
| III.2 Metodologia de Cálculos..... | 54 |
| III.3 Oportunidades de Mitigação Identificadas..... | 57 |
| Conclusão..... | 63 |
| Referências Bibliográficas..... | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1: McKinsey & Company: MACC para a economia brasileira | 21 |
| Figura 2: Banco Mundial: MACC para a economia brasileira – custos abaixo de US\$50/tCO₂e | 26 |
| Figura 3: Banco Mundial: MACC para a economia brasileira – custos iguais ou maiores que US\$50/tCO₂e | 27 |
| Figura 4: Banco Mundial: MACC industrial brasileira agregada por medida de mitigação | 28 |
| Figura 5: MACC para a indústria brasileira (US\$/tCO₂e)..... | 59 |

TABELA

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1: Custos (US\$/tCO₂e) por setor, medida e share | 60 |
|---|-----------|

INTRODUÇÃO

Este trabalho se deve ao projeto de pesquisa “Aspectos Regulatórios do Mercado de Carbono no Brasil” realizado no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, com o coordenador Ronaldo Seroa da Motta no período de Outubro de 2010 a Abril de 2012. A curva MAC industrial aqui apresentada foi construída durante o projeto, que teve como assistente a mestranda Luiza Maia de Castro e no qual trabalhei como bolsista.

Desde a entrada em vigor, no ano de 2005, do Protocolo de Kyoto, o estabelecimento de metas de redução de emissões de gases de efeito estufa tornou-se tema permanente na agenda internacional. O Brasil, como quinta maior economia do mundo, possui uma grande parcela de responsabilidade, tanto pelo lado das emissões, quanto pelo seu potencial de mitigação. Com isso, se faz necessário analisar de que formas o país pode contribuir para reduzir suas emissões, de acordo com a sua posição de liderança crescente junto aos países em desenvolvimento. Ainda que as emissões advindas do desmatamento e das práticas de uso da terra representem a maior parte das emissões brasileiras, a indústria também possui papel de grande relevância devendo assim ter as suas possibilidades analisadas, de forma que se possam tomar decisões. Isto é o que presente trabalho pretende colocar.

Assim, o capítulo I consiste em três etapas: (i) a apresentação da problemática do aquecimento global e a inserção do Brasil nesta questão; (ii) a definição do instrumento analisado por este trabalho: as curvas MAC; e (iii) resenhas bibliográficas dos estudos realizados pelas instituições McKinsey & Company (MCKINSEY & CO., 2009) e Banco Mundial (BANCO MUNDIAL, 2010a e 2010b) acerca do potencial de abatimento de emissões da economia brasileira como um todo.

O capítulo II faz uma análise da indústria nacional, sua evolução histórica, as razões para que essa indústria, de desenvolvimento tardio, tenha se especializado em setores intensivos em poluição; e uma breve apresentação de cada setor tratado neste trabalho, com informações de mercado, consumo energético e potencial de mitigação.

O Capítulo III apresenta uma análise aprofundada dos custos marginais por tonelada de carbono evitada do setor industrial, com uma abordagem por segmento da

indústria, considerando onze principais segmentos no que concernem as possibilidades de abatimento, e doze medidas a serem implementadas.

Os dados para esta análise são advindos de cálculos feitos durante o estudo do Banco Mundial por Maurício Henriques Jr., chefe da divisão de energia do Instituto Nacional de Tecnologia (INT – MCT), cedidos por ele, entregues diretamente ao IPEA. A presente análise trata de destrinchar o potencial do setor industrial, ofuscado no estudo da Mcinsey & Company, por conta do expressivo e dominante potencial do setor florestal brasileiro como redutor de emissões e também desagregar os custos por setor, de forma que um tomador de decisão de um determinado setor da indústria possa identificar de fato quais são as suas possibilidades, o que tampouco foi feito pelo estudo do Banco Mundial.

CAPÍTULO I – CONTEXTUALIZAÇÃO

Esse capítulo pretende embasar o presente trabalho explicando em primeiro lugar como funciona a questão das mudanças climáticas, qual a importância de se abater emissões de gases de efeito estufa, e como o nosso país se inclui neste problema e no seu conjunto de soluções. Em seguida são apresentadas as Curvas de Custos Marginais de Abatimento, sua utilidade, e de que formas podem ser construídas, uma vez que o estudo se baseia neste instrumento. Finalmente, serão apresentadas as curvas já construídas por instituições internacionais para a economia brasileira como um todo, que embasam a curva setorial industrial apresentada no Capítulo III.

I.1 – O Brasil no contexto das mudanças climáticas

Essa seção tem como objetivo apresentar um curto histórico dos compromissos internacionais com as mudanças do clima, explicando de forma breve o problema do aquecimento global. Posteriormente pretende-se colocar a inserção do Brasil neste contexto, como país em desenvolvimento, com alto potencial poluente, porém também alto potencial de abatimento, signatário do Protocolo de Kyoto e com metas voluntárias de redução de emissões de GEE.

I.1.1 - O contexto global

No ano de 1988, foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, o IPCC, em uma ação conjunta do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e da Organização Meteorológica Mundial (WMO), para ser um corpo científico com o objetivo de fornecer aos governos dos diversos países uma visão científica clara da situação atual das mudanças climáticas (IPCC, 2012). Assim, em 1990, o IPCC lançou o seu primeiro Relatório de Avaliação, colocando informações relevantes que trariam a questão do aquecimento global para a agenda internacional de discussões e dariam início às negociações para a consolidação de uma convenção-quadro para nortear o debate mundial acerca do tema (IPCC; UNFCCC, 2012).

Desde o seu primeiro relatório até o mais recente, lançado em 2007, o IPCC vem expondo a relação direta entre a concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na

atmosfera terrestre e a temperatura média do planeta. O painel coloca ainda que esta concentração tem apresentado níveis crescentes desde a primeira revolução industrial, carregando consigo o aumento da temperatura global no mesmo período. Isto se dá majoritariamente em decorrência da queima de combustíveis fósseis que tem como produto o dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa (UNFCCC, 2012). Já se sabe que desde o final do século XIX, a temperatura média da superfície terrestre aumentou em $0,74^\circ \text{C}$. Estima-se que, em um cenário tendencial, esta temperatura se eleve de $1,8^\circ \text{C}$ a $4,0^\circ \text{C}$ até o ano de 2100 (IPCC, 2012).

A incidência de gases de efeito estufa na atmosfera é de fato natural e necessária para a sobrevivência humana e de milhões de outras espécies (UNFCCC, 2012). Estes gases caracterizam um mecanismo de regulação da temperatura, à medida que absorvem o calor dos raios solares e o re-irradia para a superfície terrestre, tornando-a habitável (UNEP, 2008). Porém, segundo a UNFCCC (2012), existe uma questão de escala: a consolidação da indústria mundial, e com ela o desmatamento e determinadas práticas do uso da terra, colocaram a concentração de GEE na atmosfera em escala insustentável. Assim, com o crescimento populacional, econômico, e do padrão de consumo mundial, um cenário tendencial apresenta crescentes emissões e concentrações destes gases.

Ainda segundo o IPCC (*apud* Banco Mundial, 2010a p.11), para que essa concentração se estabilize a um nível possível de se manter o aumento da temperatura média global em 3°C até 2030, seria necessária uma redução de mais de 50% das emissões globais no período. Das cerca de $60 \text{ GtCO}_2\text{e}^1$ projetadas para serem emitidas em 2030 em um cenário tendencial, a redução deveria levar a emissões inferiores a $30 \text{ GtCO}_2\text{e}$.

E em meio a estas questões, instituiu-se em 1992 a Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas, (CQNUMC, ou, do Inglês, UNFCCC) como resultado da chamada Cúpula da Terra no Rio de Janeiro. A convenção foi criada em prol da cooperação entre os países para analisar as possibilidades de se limitar o

¹ CO_2e significa “equivalente de dióxido de carbono”, é uma medida padronizada de GEE, uma métrica pela qual emissões de outros GEE são computadas comparando-se o seu potencial de aquecimento global com o do carbono.

aumento da temperatura média mundial, além de lidar com os impactos ambientais que desde então já eram considerados inevitáveis (UNFCCC, 2012). Ela entrou em vigor em 1994 e, no ano de 1997, foi definido o Protocolo de Kyoto a fim de criar um comprometimento de todos os países signatários com a redução das suas emissões.

O Protocolo de Kyoto compromete trinta e sete países signatários industrializados e a União Européia a cumprir metas quantitativas de redução de emissões, objetivando um primeiro resultado a ser alcançado entre os anos de 2008 e 2012 de reduzir em 5% as emissões globais de GEE com relação às emissões do ano de 1990. O Protocolo sacramentou o princípio de “responsabilidades comuns, porém diferenciadas”, ao estabelecer que os países desenvolvidos, incluídos no Anexo 1, devem comprometer-se a reduzir suas emissões, por terem sido os principais responsáveis pelos atuais índices de GEE na atmosfera, como resultado de mais de 150 anos de atividade industrial (UNFCCC, 2012). Os países em desenvolvimento, como o Brasil, também devem fazer esforços para reduzir suas emissões, mas sem limites quantitativos pré-estabelecidos.

Para atingir a estabilização das concentrações de GEE que permite que o aumento da temperatura média global permaneça em até 3°C, o IPCC considera que os países desenvolvidos devem ser capazes de alcançar, em 2030, emissões que não ultrapassem 22 GtCO₂e (Banco Mundial, 2010a p.11). Entretanto, duvida-se que esta redução consiga ser alcançada somente através do abatimento realizado nos países industrializados, ainda que se pese a sua responsabilidade histórica.

Para buscar uma maior eficiência no cumprimento destas metas, de forma a estimular investimentos em tecnologias limpas, gerando possibilidades de ganhos para os países não regulados, estabeleceram-se os seguintes mecanismos de mercado: O comércio de permissões de emissões, também chamado de Mercado de Carbono, os mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a Implementação Conjunta (UNFCCC, 2012).

Em 2005, o Protocolo de Kyoto entrou finalmente em vigor, com regras adotadas na Conferência das Partes (COP) 7, em Marrakesh. Foram, neste momento, estabelecidas as metas para os países do Anexo I, das quais se originam políticas climáticas

mandatórias. Enquanto isso, os países em desenvolvimento ficam isentos de metas, uma vez que se considera que estes têm prioridades em relação ao seu crescimento e desenvolvimento, tendo preocupações sociais e econômicas que devem ser consideradas. Desta forma, as soluções para mitigação dadas por este grupo de países tendem a ser voluntárias, e relacionadas aos mecanismos de flexibilização de metas dos países do Anexo I (SCHAEFFER et al. 2010 p.3).

I.1.2 – A responsabilidade brasileira

O Brasil possui diversas razões para ser considerado um país chave no contexto das mudanças climáticas. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2008 p.52), o país ocupa a quarta posição entre os países que mais emitem GEE no mundo, e é responsável por 5% das emissões totais globais (McKinsey, 2009a p.5). Isto representava, em 2005, 2,25 GtCO₂e dentre as 45 tCO₂e emitidas globalmente. Sua intensidade *per capita* de emissões foi, em 2005, de 12 tCO₂e, nível comparável a alguns países industrializados europeus, com emissões *per capita* em torno de 10 tCO₂e no mesmo ano (McKinsey, 2009a p.5).

Em um cenário base, se estima que o Brasil será responsável, em 2030, por 4% das emissões mundiais de GEE, emitindo 2,8 GtCO₂e neste ano. Isto se deve majoritariamente ao setor florestal, uma vez que o desmatamento é responsável por aproximadamente 55% das emissões brasileiras, fugindo dos padrões de outros países em desenvolvimento e também da norma global (McKinsey, 2009a p.5).

Porém, ainda segundo McKinsey & Co. (2009a p.3), o Brasil está, em um horizonte até 2030, entre os cinco países do mundo com maior potencial de abatimento de emissões. Segundo as projeções do Banco Mundial (2010a p.194), um cenário de baixo carbono levaria o Brasil a uma redução de 52% das suas emissões no ano de 2030, frente ao cenário *business as usual*. Já a McKinsey & Co. (2009a p.5) vai mais além, e projeta uma redução de 70% das emissões brasileiras em um cenário de baixo carbono para 2030, passando de um nível de emissões de 2,8 GtCO₂e previsto para um cenário base para apenas 0,9 GtCO₂e neste ano.

No que se refere ao Protocolo de Kyoto, o Brasil é signatário, porém, na condição de país em desenvolvimento, não faz parte do Anexo I. Desta forma, suas metas, e, portanto as medidas adotadas, são voluntárias. Neste sentido, o país vem dando demonstrações de que está comprometido com as suas responsabilidades. Desde que o Protocolo entrou em vigor, em 2005, importantes medidas foram tomadas. Em 2008, foi lançado o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) que determina uma redução em 70% do desmatamento no país até 2017 e, em 2009, o parlamento brasileiro aprovou a Lei 12.187 que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil. A lei estabelece ainda uma meta voluntária de abatimento de GEE, como compromisso nacional de adotar “ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa com vista a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020” (Lei 12.187/2009).

Como contribuição ao desenvolvimento do protocolo, o Brasil sediou, em junho de 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, a chamada Conferência da Terra, e sediará, em junho de 2012, também no Rio de Janeiro, a Rio+20: Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável.

Nesse contexto, uma questão a ser considerada é a condição do Brasil como país em desenvolvimento. Países nesta condição enfrentam um desafio com duas faces, na medida em que não terão a oportunidade que os países desenvolvidos tiveram nos séculos XIX e XX de se industrializar e se desenvolver às custas de emissões desmedidas de GEE. Pelo contrário, devem ser capazes de se desenvolver e simultaneamente contribuir para a contenção do aquecimento global. Porém, para países emergentes como o Brasil e a China, o desenvolvimento da sua economia ainda está em primeiro plano, ainda que em detrimento do ambiente. Segundo o então presidente do Brasil, Luiz Inácio Lula da Silva, no ano de 2009, “quaisquer ações que visem evitar futuras emissões de GEE não devem afetar adversamente os direitos dos pobres ao desenvolvimento, eles que nada fizeram para gerar o problema” (BANCO MUNDIAL, 2010a p.5).

No entanto, a migração para uma economia de baixo carbono pode representar uma estratégia de desenvolvimento, ao invés do *trade-off* que se costuma colocar. Importantes benefícios são gerados ao desenvolvimento socioeconômico por uma

economia de baixo carbono, como a economia de energia, redução de custos de produção industriais, geração de empregos, conservação da biodiversidade, além do manejo de resíduos e a redução da poluição que representam melhora na qualidade de vida da população, em especial a população de baixa renda. Como colocado pelo relatório desenvolvido pelo Banco Mundial (2010a, p.5),

“Os países que adotam um tipo de desenvolvimento com baixo carbono têm mais probabilidade de usufruir dos benefícios oferecidos por vantagens estratégicas e competitivas como a transferência de recursos financeiros através do mercado de carbono, novos instrumentos para financiamento internacional e acesso a mercados globais emergentes para produtos de baixo carbono. No futuro isso pode criar uma vantagem competitiva para a produção de bens e serviços, devido aos menores índices de emissões associadas ao ciclo de vida dos produtos.”

Ainda, de acordo com o Guia das Nações Unidas para a Neutralidade Climática (UNEP, 2008 p.6), as consequências ambientais, políticas e econômicas do aquecimento global serão profundas. Mudanças rápidas estão ocorrendo com os mais distintos ecossistemas e os padrões climáticos estão cada vez mais imprevisíveis. Os desastres ambientais ao redor do mundo costumam afetar com muito mais intensidade as camadas mais pobres da população e estas mesmas camadas serão as mais atingidas pela escassez de recursos.

De acordo com o Banco Mundial, (2010a p.20), o Brasil apresenta preocupante vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas. Existem modelos avançados que sugerem que parte da Amazônia brasileira poderá se tornar um ecossistema semelhante às savanas africanas ainda neste século. E este fenômeno, conhecido com Colapso da Amazônia, se somado aos efeitos de mais curto prazo do desmatamento por queimadas, poderia reduzir a pluviosidade nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, reduzindo não só a produtividade agrícola, como a disponibilidade de água para a geração de energia hidroelétrica (BANCO MUNDIAL, 2010a p.20). Dado que a agricultura e a pecuária foram responsáveis por, em média, 6,5% do PIB brasileiro na última década (IPEADATA, 2012) e que a hidroeletricidade é responsável atualmente por mais de 80% do total da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil (ABUDD E

TANCREDI, 2010 p.5), a ameaça que as mudanças do clima representam ao desenvolvimento sócio-econômico do país estão suficientemente claras.

Fica, portanto, a ideia colocada pelas Nações Unidas em seu Guia para a Neutralidade Climática (UNEP, 2008 p. 7) de que a mitigação das mudanças climáticas, a erradicação da pobreza e o fomento da estabilidade política e econômica dependem de uma mudança global de hábitos no que tangem as emissões de GEE.

I.2 – As MACC

As Curvas de Custos Marginais de Abatimento, do inglês, MAC Curves ou MACC, contrastam os custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa (GEE) de uma economia com o total de toneladas de emissões abatidas (SERÔA DA MOTTA E CASTRO, 2011 p.2). No contexto das mudanças climáticas, as curvas MAC apresentam aos formuladores de políticas públicas e tomadores de decisões dos diversos setores, ainda que não estejam estabelecidas metas, onde estão as suas principais oportunidades de mitigação de emissões, considerando a relação entre o custo por tonelada de carbono evitada e a quantidade de toneladas que uma medida de abatimento, se realizada por um determinado setor, será capaz de evitar. Além disso, são utilizadas para estimar as quantidades de créditos de carbono que serão ofertadas e demandadas pelos diferentes setores de uma economia, caso se implementem metas de redução de emissões por sistema de *cap-and-trade*. A partir do momento que se estabelece uma meta, ou, um *cap*, para as emissões de uma economia, pode-se identificar quanto do abatimento será feito internamente por cada setor, e quanto cada setor vai demandar ou ofertar de créditos.

Segundo Naucér e Enkvist (2009 p.20 *apud* EKINS et al. 2011 p.8), as curvas MAC representam um ponto de partida para a discussão global sobre de que forma reduzir as emissões de GEE, demonstrando a importância dos diferentes setores, regiões e medidas de abatimento, e apresentando uma base concreta de custos. As MACC proporcionam um acesso individual às medidas, de forma que os custos e o potencial de mitigação de emissões podem ser isoladamente examinados, e ranqueados de acordo com seus custos desde o menor até o maior. Ainda segundo Ekins et al. (2011 p. 8), nesta

representação de custos, está implícito que a imposição de uma taxa sobre a emissão de carbono levaria à adoção de todas as medidas cujos custos se encontram abaixo do valor da taxa na curva MAC.

Os custos marginais de mitigação podem ser estimados, de maneira geral, sob duas abordagens distintas: uma com base tecnológica, e outra baseada em modelos econômicos (SERÔA DA MOTTA E CASTRO, 2011 p.2).

A abordagem dos modelos econômicos se divide em outra duas vertentes: a primeira, dos chamados modelos top-down, de equilíbrio geral, e a segunda dos chamados modelos bottom-up, de equilíbrio parcial. Os modelos top-down possuem a fundamentação microeconômica dos modelos de equilíbrio geral, de forma que são capazes de compreender as reações da economia observada a ajustes endógenos de mercado (BOHRINGER; RUTHERFORD, 2008 p.2), tais como regulação, taxação e restrições ambientais (BOHRINGER, 1998 p.234). Porém, segundo Bohringer (1998, p.234), apesar da sua capacidade de analisar as reações de uma economia, os modelos de equilíbrio geral são criticados por carecerem de informação tecnológica. de referência para todo o conjunto examinado no modelo (BOHRINGER, 1998 p. 234).

Já os modelos bottom-up, de equilíbrio parcial, oferecem maior detalhamento tecnológico. De acordo com Hourcade *et al.* (2006 p.4), costumam descrever com detalhes a competição entre diferentes tecnologias tanto no momento presente, quanto em termos de perspectivas futuras. E descrevem, ainda, tanto pelo lado da oferta, como por exemplo no caso do setor energético, apresentando possibilidades de substituição entre formas primárias de geração de energia; quanto pelo lado da demanda, apresentando, no mesmo exemplo, possibilidades de melhora na eficiência energética do uso final e substituições entre combustíveis.

A abordagem tecnológica é considerada uma forma de bottom-up, porém sem uma análise econômica, e sim da engenharia. A primeira Apoia-se nas práticas já utilizadas na economia mundial, e nos projetos feitos por engenheiros para a implementação de novas tecnologias, para estimar custos e potenciais de abatimento. Esta análise oferece elevado detalhamento tecnológico, mas falha em apropriar todos os custos

envolvidos e barreiras à implementação e à adesão às novas tecnologias. Desta forma, as curvas de custos marginais de abatimentos construídas a partir da análise tecnológica das oportunidades tendem a superestimar potenciais e subestimar custos, apresentando na maioria das vezes custos negativos, ou seja, medidas que geram receita se implementadas (SERÔA DA MOTTA E CASTRO, 2011 p.3).

Segundo Bohringer (1998 p.234), estes modelos costumam conseguir capturar os impactos de restrições técnicas exógenas, advindas de políticas públicas, sobre as substituições tecnológicas para atendê-las. No entanto, para Hourcade *et al.* (2006 p.4), são criticados por não serem capazes de descrever de forma realista os efeitos microeconômicos de decisão na escolha de uma tecnologia por parte de firmas e consumidores, e tampouco os efeitos macroeconômicos em termos de mudanças na estrutura econômica, na produtividade e no comércio, que afetam a taxa, a direção e a distribuição do crescimento econômico.

No que se refere aos modelos de abordagem econômica que adotam problemas de otimização, suas funções de abatimento não comportam preços negativos ou detalhamento tecnológico (SEROA DA MOTTA E CASTRO, 2011 p. 3). Em ambos os estudos utilizados como base neste trabalho, foi utilizada a abordagem tecnológica.

I.3 – As MACC construídas para a economia brasileira

A metodologia deste trabalho envolve primeiramente resenhas bibliográficas dos estudos realizados por instituições internacionais para a economia brasileira acerca do potencial de abatimento de emissões, sendo estas instituições o Banco Mundial e a McKinsey & Company. Estes estudos tiveram como resultado curvas de custo marginal de abatimento, as MACC.

Os dois estudos realizados por instituições internacionais para o Brasil serão utilizados neste trabalho de formas distintas: o primeiro será utilizado para demonstrar que as possibilidades de abatimento da indústria no Brasil podem receber tratamento mais detalhado, tendo mais significância do que aquela a elas atribuída. Já o segundo será utilizado como base, porém com uma abordagem distinta. Enquanto o “Estudo de Baixo

Carbono para o Brasil” calcula custos médios da tonelada de carbono evitada por medida de mitigação, englobando em sua análise todos os segmentos da indústria considerados, será apresentada uma análise que desagrega estas medidas por segmento.

I.3.1 – McKinsey & Company: Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil

A instituição Mckinsey and Company é uma empresa global de consultoria que realizou um grande estudo acerca do potencial econômico de mitigação de emissões para 21 países, analisando 10 setores da sua atividade, que por sua vez possuíam um total de 200 oportunidades de mitigação das emissões de gases de efeito estufa. O Brasil esteve entre os 21 países estudados, e o relatório nacional levou o nome de “Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil”.

O trabalho considera um horizonte de 2005 a 2030 e coloca que, num cenário base, onde se mantém a atividade econômica na trajetória em que está, sem que se introduzam as mudanças com potencial de mitigação, em 2030 as emissões mundiais chegariam a 70GtCO₂e. Porém, este valor poderia ser reduzido a 32 GtCO₂e introduzindo-se, globalmente, um conjunto de medidas com custos inferiores a €60/GtCO₂e.

A metodologia do estudo para o Brasil considerou um crescimento médio do PIB de 3,5% a.a. de 2010 a 2015 e um crescimento de 2,8% a.a. de 2015 a 2030. Assumiram-se preços e custos de 2005, um preço médio do barril de petróleo, para fim de cálculo de preços de outros energéticos, de US\$60,00 e uma taxa de desconto de 4%, pouco realista para o cenário da economia brasileira.

O cálculo das emissões abatidas até 2030 e do investimento necessário para a realização das oportunidades foi feito em um processo de quatro fases: a primeira fase determinou o caso base, que prevê a evolução das emissões futuras mantendo as tendências atuais, baseado no Inventário de Gases de Efeito Estufa, Comunicação Nacional (MCT, 2004). A segunda fase analisou as oportunidades de abatimento de emissões e seus respectivos custos. As medidas de “neutralização” do carbono

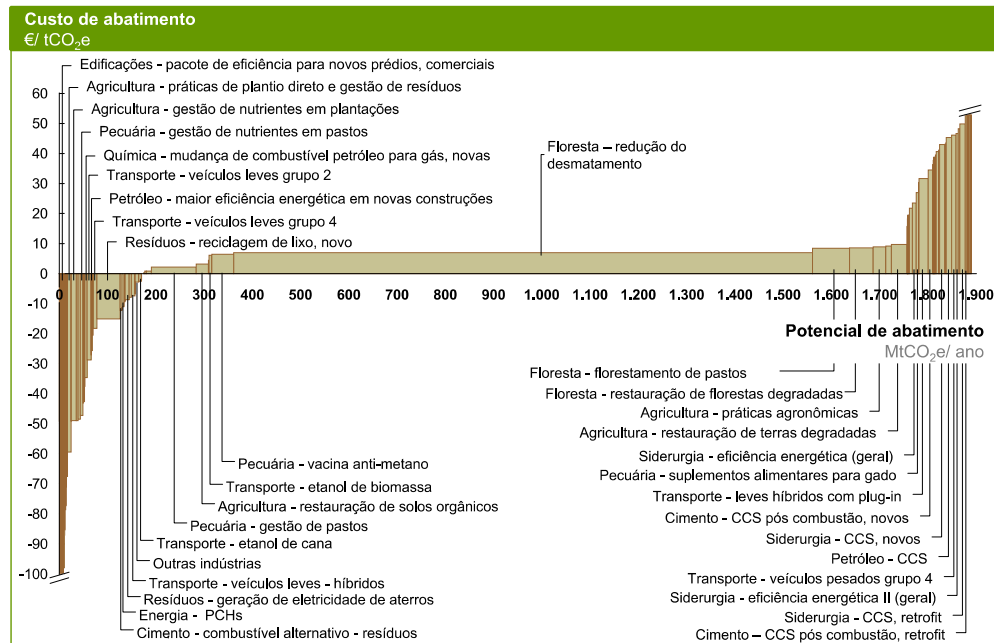
consideradas englobam substituição de combustíveis fósseis, medidas de eficiência energética e novas tecnologias, porém sem considerar tecnologias ainda em fase experimental e mudanças de hábito de famílias, como a maior utilização de transportes públicos por exemplo. Isso porque custos relacionados ao comportamento são de natureza não-financeira, tornando difícil a tarefa de quantificá-los, como será retomado mais à frente.

O custo de abatimento gerado por cada medida foi considerado o custo adicional para a sociedade se comparado ao custo da atividade no caso base. A terceira fase tratou de agregar os custos e volumes de abatimento, por ordem do menor para o maior custo, para a construção da curva de custos e a quarta e última fase utilizou a curva obtida para prever possíveis impactos sobre a economia brasileira caso houvesse alterações regulatórias.

No que tange as possibilidades do Brasil, o estudo indica que o país poderá reduzir 70% das suas emissões com relação ao cenário base até 2030, através de 120 das oportunidades de redução de emissões de GEE, nos 10 principais setores da sua economia. Destas 120 iniciativas, 60, que correspondem a 10% do potencial total de mitigação do país, apresentaram custos negativos, ou seja, geram economias em maior valor que o investimento necessário para que sejam implementadas. Além disso, nas 70 outras medidas de mitigação, 80% do potencial de abatimento apresentou custos marginais inferiores a €10/tCO₂e, valor inferior àquele em que o carbono tem sido comercializado no mercado internacional de créditos de carbono.

O gráfico a seguir apresenta as possibilidades encontradas por este estudo para cada setor analisado da economia, onde a altura da barra representa o seu custo marginal, em Euros de 2005, por tonelada de carbono equivalente evitada, e a largura da barra representa a quantidade de toneladas de carbono que a medida é capaz de abater no período:

Figura 1: McKinsey & Company: MACC para a economia brasileira



Fonte: McKinsey, 2009.

Os custos marginais calculados têm uma abordagem por setor da economia e, dentro de cada setor, há um custo calculado para cada medida em que se apresenta potencial. Porém, este estudo aborda a indústria de forma superficial, considerando apenas três dos seus setores. O que o presente trabalho vem acrescentar é um maior detalhamento dos custos marginais de abatimento da indústria brasileira, com abordagem semelhante àquela feita pela McKinsey & Co., adicionando, entretanto, setores. Pretende-se assim analisar quais são, de fato, as possibilidades da indústria nacional.

Como esperado, o estudo constata que as principais oportunidades de mitigação do país estão no setor florestal. Em 2010, o desmatamento era responsável por 55% das emissões totais brasileiras de GEE, e projeta-se que, em 2030, seja responsável por 43%. Ainda segundo o estudo, 72% das oportunidades de abatimento no país residem na redução do desmatamento. Englobando a agricultura à questão florestal, tem-se 70% das emissões previstas para o país em 2030 e 85% das oportunidades de abatimento. É importante ressaltar a agricultura e a pecuária como fontes de desmatamento, já que o país tem extensa produção agrícola, suprimindo grande parte da demanda mundial por

alimentos, que é crescente, exportando cerca de 30% da soja mundial, por exemplo, e 25% da carne bovina.

Entre os outros setores com bom potencial de abatimento apresentados pela Mckinsey, estão os setores de energia e transportes terrestres, responsáveis por 13% das emissões totais projetadas para o país em 2030, frente a uma média global de 40% das emissões advindas destes mesmos setores. E isto se dá pelo fato de que o Brasil tem uma matriz de geração de energia elétrica considerada limpa, tendo o estudo estimado que 85% da energia gerada em usinas hidroelétricas, e pela alta utilização do etanol como combustível do transporte rodoviário. Atualmente, a tecnologia *fuelflex*, ou seja, automóveis movidos por ambos etanol e gasolina, já alcança aproximadamente 85% das vendas de veículos leves no Brasil. Estima-se que até 2020, a participação desta tecnologia nos veículos leves em circulação passe de 20% para 80% do total. Por fim, as edificações e o tratamento de resíduos somam 3% das emissões previstas para o final do período de análise mencionado e aproximadamente 3,5% das possibilidades de mitigação.

Já o setor industrial, tratado com mais detalhamento no presente trabalho, é responsável por 26% do total global de emissões esperadas para 2030. No Brasil, este número é consideravelmente menor, mais ainda assim de notável importância, respondendo a indústria por 13% das emissões do país no mesmo ano. Segundo Mckinsey (2009), isso se deve ao fato de que a energia produzida no Brasil se diferencia por ser considerada mais limpa, e a algumas características intrínsecas da indústria brasileira, como a baixa intensidade de emissões da produção de petróleo nacional.

O estudo analisa apenas os segmentos industriais do cimento, siderurgia, englobando neste a produção de ferro-gusa, o segmento químico e o de petróleo e gás, envolvendo todos os outros segmentos na categoria “outras indústrias”. A instituição dá especial atenção ao setor siderúrgico uma vez que suas plantas de produção de ferro-gusa instaladas no país são, atualmente, movidas a carvão vegetal e espera-se que em um horizonte de vinte anos este carvão possa passar a ser originário de florestas plantadas. O estudo prevê uma participação da indústria no abatimento total da economia brasileira de 2010 a 2030 de 7% do total.

I.3.2 - Banco Mundial: Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

O Banco Mundial, com um trabalho um pouco mais completo, elaborou relatórios técnicos setoriais, entre eles o chamado “Tema O”, Emissões do Setor da Indústria. Este estudo desenvolve um cenário de baixa emissão de carbono para a indústria brasileira dos anos de 2010 até 2030 frente a um cenário base, *Business as Usual*, que representa a evolução das emissões e dos custos de produção da indústria na trajetória em que se encontram, sem que se implementem medidas para a mitigação de emissões.

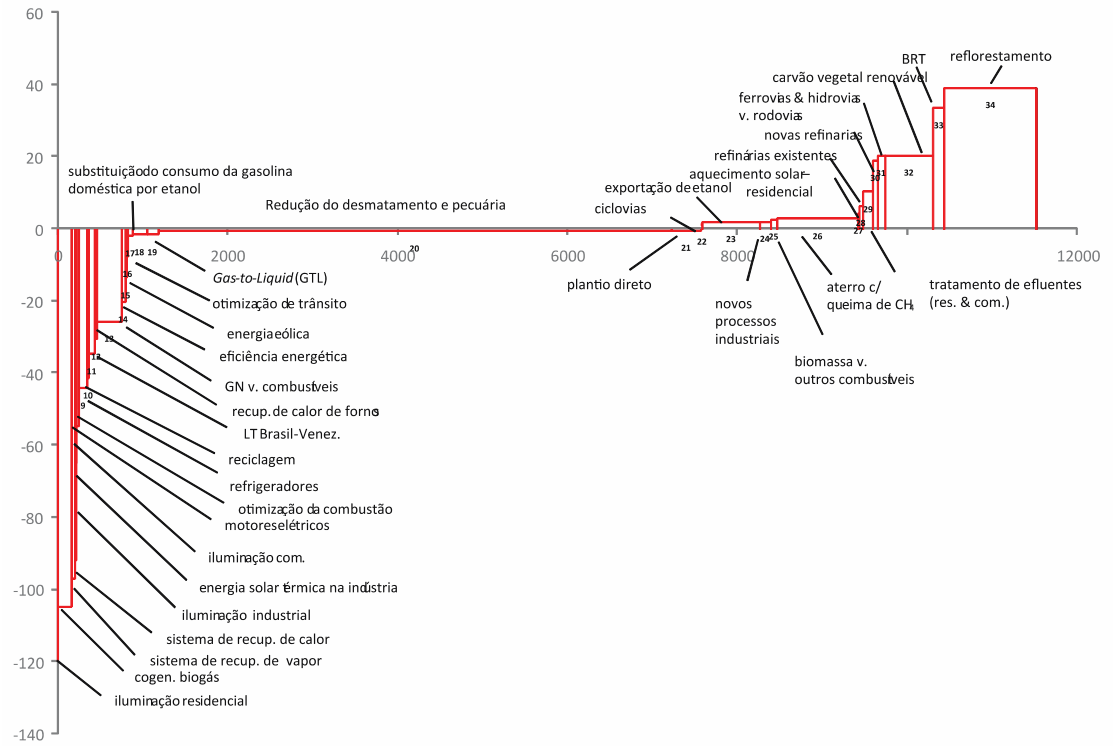
Comparando-se estes cenários, calcularam-se os investimentos necessários para que as medidas sejam implementadas, e, dividindo-se a estimativa do investimento total de cada medida pela a estimativa das toneladas de carbono abatidas, se obteve um custo de abatimento. Isto foi feito subtraindo-se os custos e receitas que uma opção do cenário referencial apresentava dos custos e receitas que cada opção de baixo carbono apresentava, ano a ano, de 2010 a 2030. Calculou-se então o valor presente líquido para 2009 desta diferença, calculando por fim a média ponderada do custo de cada medida, ao dividir o VPL pela quantidade de tCO₂ evitadas no período. A abordagem dos custos marginais neste trabalho é feita por opção tecnológica, agregando todos os setores que apresentam potencial de implementação da mesma.

O trabalho contou com dados do Balanço Energético Nacional (BEN) 2007 para realizar as estimativas de consumo energético, e assumiu como cenário de crescimento econômico o cenário B1 do Plano Nacional de Energia – PNE 2030, no qual se considera um crescimento de 3,7% a.a. do PIB. A partir daí, se estimaram o crescimento das emissões industriais no período para cada segmento, e, a partir da suposição de um preço médio do petróleo de US\$40,00 por barril, foram calculados os preços dos demais energéticos. Por fim, se supôs uma taxa interna de desconto de 8% a.a. para os fluxos de caixa no período. Segundo o próprio relatório, a maioria dos investimentos foi definida a partir de consulta à literatura especializada, mas também, conforme explicitado no mesmo: “através de cálculos indiretos com base nos valores de economia encontrados e de prazos de retorno típicos para cada tipo de medida (também de acordo com a literatura).” (Banco Mundial, 2010b p.9).

Tratando-se da economia como um todo, os resultados que o estudo apresenta são semelhantes àqueles apresentados pela McKinsey & Co. A parte central de sua curva é plana, representando os baixos custos e o grande potencial de abatimento por redução de desmatamento. Neste estudo, estima-se que pouco mais de 50% do volume de abatimento potencial residem nesta medida. Os custos mais baixos encontrados foram aqueles relacionados à eficiência energética com custos negativos entorno de US\$-100. O estudo atribui os custos negativos relacionados às medidas de eficiência energética ao *energy saving*, ou seja, a redução do consumo de energia.

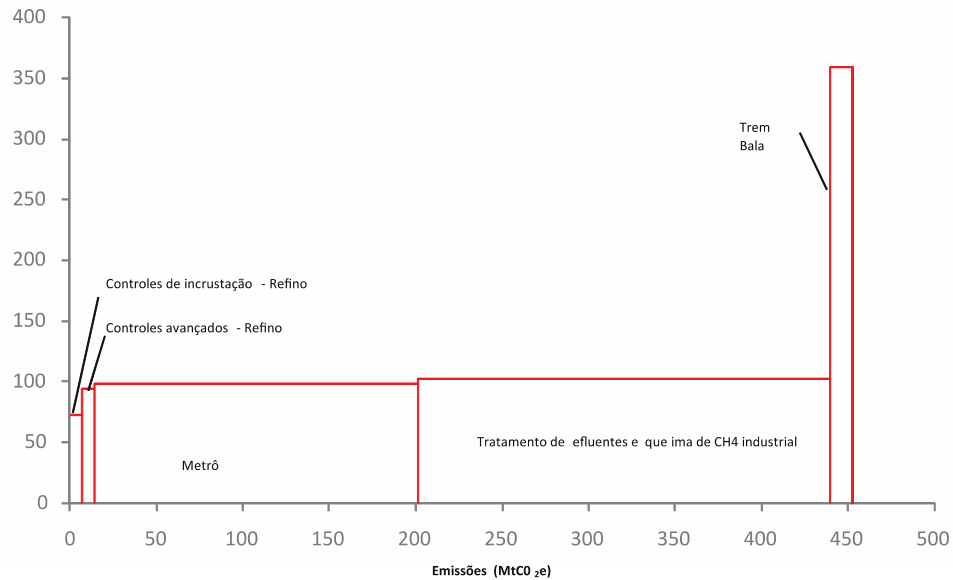
As opções que apresentaram os maiores custos foram aquelas que demandam maior volume de capital com destaque para as refinarias e tratamento de resíduos transportes ferroviários, tendo a construção de metrô e de trem bala e o tratamento de resíduos industriais emissores de CH₄ sido responsáveis pelos custos mais altos desta análise. As curvas para a economia brasileira como um todo foram divididas entre as opções com custos menores que US\$50/tCO₂e e as opções com custos maiores ou iguais a US\$50/tCO₂e e estão representadas a seguir:

Figura 2: Banco Mundial: MACC para a economia brasileira – custos abaixo de US\$50/tCO₂e



Fonte: Banco Mundial, 2010a.

Figura 3: Banco Mundial: MACC para a economia brasileira – custos iguais ou maiores que US\$50/tCO₂e



Fonte: Banco Mundial, 2010a.

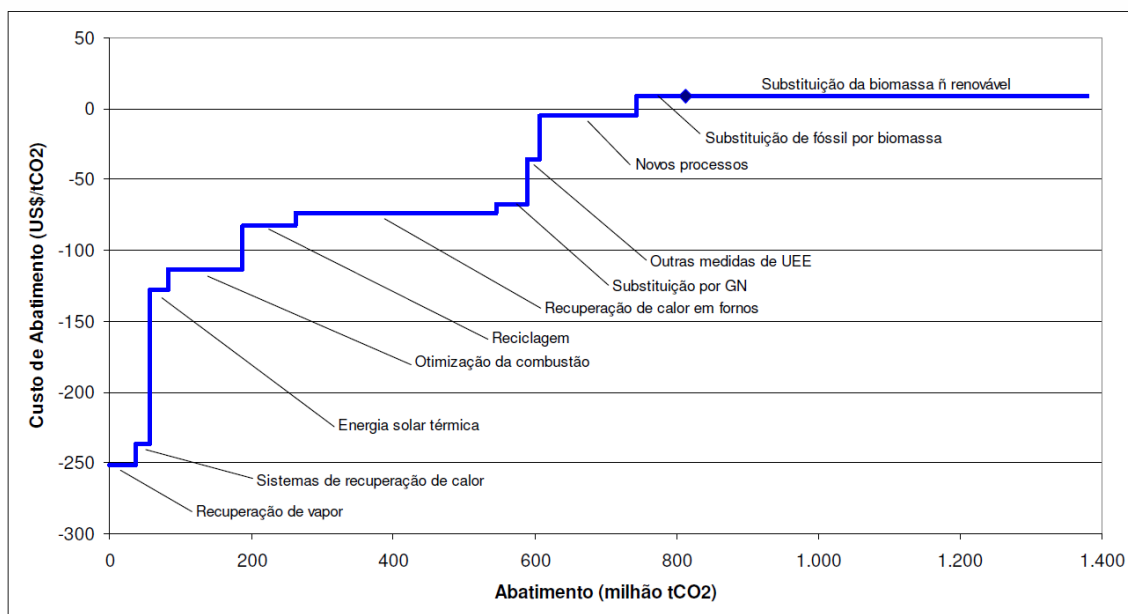
O relatório industrial apresenta um conjunto de medidas que consistem em doze opções tecnológicas. Seis delas compõem o grupo das medidas de eficiência energética, sendo elas: melhoria de eficiência da combustão, sistemas de recuperação de calor, recuperação de vapor, recuperação de calor em fornos, novos processos e um agrupamento das outras medidas de eficiência energética, chamado pelo trabalho e que aqui também será chamado de *Outras*. As demais opções tecnológicas são: Reciclagem de materiais, Troca inter-combustíveis fósseis (em geral substituindo coque de petróleo e outros combustíveis por gás natural), substituição de combustíveis fósseis por biomassa, substituição de biomassa não renovável por biomassa renovável e cogeração de energia nas plantas industriais.

Os setores industriais apresentados pelo Estudo de Baixo Carbono para o Brasil, sendo, portanto, os setores que apresentam melhores potenciais de abatimento na indústria brasileira são os seguintes: bebidas e alimentos, cerâmica, cimento, ferro-ligas, metais não-ferrosos, mineração e pelotização, papel e celulose, siderurgia e têxtil. Os

setores analisados no presente trabalho serão os mesmos, uma vez que os dados para a realização dos cálculos foram provenientes do estudo feito pelo Banco Mundial.

A curva de custos marginais que o estudo apresenta para a indústria agrega todos os setores industriais, calculando custos por medida de mitigação, sem discriminar para os tomadores de decisões, dentro de cada setor, quais seriam os seus custos e melhores oportunidades, como representada abaixo:

Figura 4: Banco Mundial: MACC industrial brasileira agregada por medida de mitigação



Fonte: Banco Mundial, 2010a.

Como se pode ver, a curva é construída em “degraus” que representam a média dos custos de se implementar uma medida de mitigação em diversos subsetores, ponderada pelas tCO₂ abatidas em cada subsetor. Pode-se observar, em termos de oportunidades, que os menores custos encontrados correspondem a duas medidas de eficiência energética, recuperação de vapor e sistemas de recuperação de calor. E as medidas com maior potencial de abatimento foram duas também de eficiência energética, otimização da combustão e recuperação de calor em fornos, além de novos processos e a

medida com maior potencial, substituição de biomassa não renovável, que são, porém, as medidas mais caras encontradas.

É portanto possível, observando esta curva, entender que a eficiência energética possui um papel crucial para o abatimento de emissões na indústria brasileira. E como isto está distribuído entre os seus subsetores é o que será apresentado mais adiante.

CAPÍTULO II - A INDÚSTRIA BRASILEIRA E SEU POTENCIAL PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

Esse capítulo visa apresentar um panorama da indústria brasileira, suas emissões de Gases de Efeito Estufa e o seu potencial de mitigação dessas emissões. Com este fim, será apresentado primeiramente um perfil histórico e atual com relação a sua produção e as suas emissões. Posteriormente, serão colocados os seis grupos de tecnologias consideradas pelo estudo do Banco Mundial, e que são as opções de mitigação cujos custos serão apresentados no Capítulo III. Por fim, serão apresentados cada um dos onze subsetores da indústria brasileira para os quais as opções de abatimento são estudadas: sua organização de mercado, sua cadeia produtiva, seu uso da energia, suas emissões, e o seu potencial de abatimento.

II.1 A indústria brasileira

Embora a indústria no Brasil represente parcela consideravelmente menor das emissões nacionais totais do que a média global, existem muitas razões para que nos atentemos a este setor. No que se refere às emissões pela queima de combustíveis fósseis, ou seja, excluindo-se as emissões pelo uso do solo e florestas, a indústria é o segundo setor que mais emite no país, estando atrás apenas do setor de transportes (BANCO MUNDIAL, 2010b p.79 *apud* MCT, 2004). Além disso, de acordo com Schaeffer et. al (2010 p. 3), o setor é de extrema relevância no que tange o consumo de energia, sendo responsável por 38% do consumo total nacional, o que equivale a 81 milhões tep² com base no ano de 2007 (BANCO MUNDIAL, 2010b); e é atualmente muito significativa para a composição do PIB nacional, tendo sido responsável, no ano de 2008, por 27,5% do total (IBGE, 2009 *apud* SCHAEFFER et. al 2010 p.3).

² Toneladas equivalentes de petróleo.

II.1.2 A evolução da indústria no Brasil

A industrialização brasileira, como colocam Schaeffer et. al (2010), se iniciou de forma tardia. Em seu primeiro período, até o final da década de 1920, o crescimento da produção industrial estava atrelado ao desempenho do setor cafeeiro exportador, uma vez que a sua renda possibilitava a demanda por manufaturados no mercado interno (SUZIGAN, 1988 p.6). Neste momento, a principal atividade industrial no Brasil era a têxtil, seguida por bebidas e alimentos, calçados e chapéus (VERSIANI, 1984 p. 64). Ainda durante a década de 1930, o desenvolvimento industrial apoiava-se nas exportações do setor agrário e os incentivos por parte do Estado eram destinados a firmas específicas, não beneficiando setores e tampouco a indústria como um todo (SUZIGAN, 1988 p.6).

Foi a partir da década de 1940 que o estado passou a investir mais diretamente em setores intermediários como siderurgia e mineração (SUZIGAN, 1988 p.7). Mas, somente na década de 1950, a indústria brasileira começa a de fato se consolidar. Neste momento, o Estado inicia uma participação mais ativa no desenvolvimento industrial do país através do Plano de Metas de Juscelino Kubitschek, com a adoção de tarifas aduaneiras e política cambial protecionistas; da criação do BNDE como instrumento de crédito; e do investimento em indústrias de base como siderurgia, mineração e petroquímica.

O objetivo maior do Plano de Metas era a substituição das importações de manufaturados, tendo em mente que só assim se daria o crescimento econômico do Brasil, na condição de economia periférica (YOUNG e LUSTOSA, 2001 p.2). Desta forma, conseguiu-se que o país incorporasse na década de 1950 segmentos da indústria pesada, como a de bens de capital, substituindo as importações de alguns insumos básicos como máquinas e equipamentos. Assim, de acordo com Barcellos et. al (2008 p.34), entre 1968 e 1973 a indústria de transformação no Brasil cresceu à taxa média de 13,3% a.a..

Durante a década de 1970, com o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), novos investimentos públicos e privados foram feitos em indústrias de insumos básicos como siderurgia, metalurgia de não ferrosos, química e petroquímica e papel e

celulose, além de investimentos em bens de capital e infraestrutura, como por exemplo energia e transportes (SUZIGAN, 1988 p.7).

Segundo Schaeffer et. al (2010 p.22 *apud* Coutinho e Ferraz, 1994), na década de 1980, o país já havia alcançado uma estrutura bastante completa se comparada com outros países do mundo, dispondo de alto grau de integração e diversificação. Porém, com os efeitos da segunda crise do petróleo em 1979, o setor industrial se tornou um dos grandes responsáveis pelo déficit na balança de pagamentos uma vez que havia se desenvolvido sobre bases do capital internacional, e muitos dos seus setores possuíam consumo energético intensivo em petróleo. Assim, como estratégia de enfrentar os altos níveis que a dívida externa atingiu, o Estado decide continuar o programa de substituição de importações, incentivando ao máximo as exportações para que se pudesse equilibrar a balança comercial (HENRIQUES Jr., 2010 p.29).

Já na década de 1990, o governo Collor inicia a abertura comercial com a liberalização do comércio internacional e a redução brutal do papel do Estado sobre o crescimento da indústria, reduzindo inclusive as barreiras às importações e privatizando empresas estatais (HENRIQUES Jr., 2010 p. 30). Foi então que a questão da competitividade internacional passou a ser uma questão cada vez mais presente para a indústria brasileira. E, a partir de 1995, durante o governo FHC, “os acordos multilaterais de comércio, assinados no âmbito da OMC, e a posterior sobrevalorização do Real completaram o quadro da abertura comercial (SUZIGAN e FURTADO, 2006 p.172).

Segundo Young e Lustosa (2001 p. 2), existiu no Brasil um atraso no estabelecimento de uma regulação ambiental, com agências especializadas no controle da poluição industrial que demonstra que o ambiente não estava na pauta das políticas públicas. Além disso, os autores colocam que a estratégia de industrialização por substituição de exportações, com a visão de que o crescimento de uma economia periférica deveria afastar-se das bases em recursos naturais como extração mineral e agricultura, consolidou uma indústria diversificada, porém, indiretamente intensiva em recursos naturais, como energia e matérias primas baratas, e não em progresso técnico.

Colocam ainda que a consolidação do II PND resultou na expansão de indústrias intensivas em energia e emissões, em especial os segmentos químico/petroquímico e siderúrgico. Era de se esperar que na década de 1990, com a liberalização comercial, a exposição à concorrência internacional forçaria a indústria brasileira ao progresso técnico. Contudo, Suzigan e Furtado (2006 p.173) colocam que a estratégia de adaptação da indústria brasileira neste período foi no sentido da desarticulação da cadeia produtiva e desativação de segmentos de alta tecnologia para aumentar a produtividade e voltar-se para as exportações.

Vale ressaltar que os investimentos industriais em P&D, e consequentemente em inovação, ainda que crescentes, ainda são muito baixos na indústria nacional, o que prejudica a implementação de tecnologias limpas inovadoras. Young e Lustosa (2001 p.3), utilizando a terminologia da CEPAL (1990 apud Young e Lustosa, 2001 p.3), colocam que a pressão para expandir suas exportações faz com que os países periféricos se baseiem em vantagens comparativas “espúrias”. Enquanto os países do centro, ou seja, desenvolvidos, se especializaram em produtos de alto valor agregado, altos níveis tecnológicos e diferenciação de produto, os países da periferia, como o Brasil, pautam-se na produção que faz uso de insumos industriais básicos de baixo conteúdo tecnológico e elevada demanda de energia e recursos naturais.

II.1.3 O Consumo energético e as emissões de CO₂e industriais no Brasil

As emissões industriais estão diretamente relacionadas à queima de combustíveis fósseis, que por sua vez representa o consumo energético da indústria. Segundo Henriques Jr. (2010 p. 36), desde 1972, o setor industrial é o principal consumidor de energia no Brasil e, de acordo com o BEN 2011 (BRASIL, 2011), foi responsável em 2010 por 36% do consumo final de energia nacional o que equivale a 86 milhões de tep. É uma participação consideravelmente alta no consumo total do país se comparada com os países da OCDE, por exemplo, cuja indústria apresenta consumo médio de apenas 21% do total (HENRIQUES Jr., 2010). De acordo com Schaeffer et al (2010 p.24), de 2000 a 2007, o crescimento médio do consumo de energia na indústria foi de 4,1% a.a.,

com maior crescimento no segmento de bebidas e alimentos (7,7% a.a.) e o mais baixo no setor cimenteiro, com um aumento de apenas 0,9% a.a..

No que tange as emissões brasileiras de GEE, os setores que mais emitem por queima de combustíveis fósseis são o setor de transportes e industrial, emitindo juntos cerca de 72% do total. As emissões totais do setor industrial nacional em 2007 totalizaram 143 milhões de toneladas de CO₂, tendo o setor de ferro e aço como principal agente emissor, seguido dos setores de refino de petróleo, químico e cerâmico. Em seguida estão os setores da metalurgia de metais não ferrosos, cimento, bebidas e alimentos, mineração e pelotização e papel e celulose. Os setores que apresentam as emissões mais baixas são os setores de ferro-ligas e têxtil (SCHAEFFER et. al, 2010 e HENRIQUES Jr., 2010).

As emissões de dióxido de carbono na indústria derivam, segundo Schaeffer et. al, (2010 p. 26), em parte do elevado consumo de combustíveis fósseis e em parte do consumo de carvão vegetal não renovável, advindo do desmatamento. Ainda segundo os mesmos autores, em no estado de Minas Gerais, em 2010, 50% do carvão utilizado era oriundo de desmatamento, e nos estados do Pará e Maranhão, este índice chegava a 90%. A tabela abaixo apresenta as quantidades de CO₂ emitidas em 2007 por setor industrial e por fonte energética.

Figura 5: Estimativa setorial das emissões de CO₂e por fonte energética no ano de 2007 (em mil toneladas)

| | Gás Natural | Carvão Mineral e Derivados | Lenha | Derivados de Petróleo | Carvão Vegetal | Total | Participação (%) |
|--------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Sector Industrial | 20.113,9 | 47.714,2 | 11.590,0 | 50.774,0 | 12.815,7 | 143.007,8 | 100,0 |
| Cimento | 39,8 | 514,8 | - | 7.119,8 | 504,8 | 8.179,1 | 5,7 |
| Ferro-gusa/Aço | 2.738,7 | 41.233,0 | - | 2.375,2 | 10.857,1 | 57.204,0 | 40,0 |
| Ferro-ligas | 4,7 | 448,7 | 197,8 | 619,9 | 1.400,6 | 2.671,7 | 1,9 |
| Mineração/Pelotização | 633,8 | 2.898,4 | - | 3.469,7 | - | 7.001,9 | 4,9 |
| Não-ferrosos | 1.246,5 | 1.149,3 | - | 5.687,4 | 20,5 | 8.103,7 | 5,7 |
| Química | 5.137,7 | 236,9 | 20,4 | 9.255,4 | 7,7 | 14.658,1 | 10,2 |
| Alimentos/Bebidas | 1.293,3 | 163,1 | 3.804,5 | 1.703,6 | - | 6.964,5 | 4,9 |
| Têxtil | 764,8 | - | 38,4 | 377,6 | - | 1.180,7 | 0,8 |
| Papel/Celulose | 1.321,4 | 330,2 | - | 1.662,4 | - | 3.314,0 | 2,3 |
| Cerâmica | 2.235,8 | 170,9 | 6.026,4 | 1.767,6 | - | 10.200,7 | 7,1 |
| Outras Indústrias | 2.523,5 | 568,9 | 1.502,6 | 2.720,4 | 25,0 | 7.340,4 | 5,1 |
| Refino Petróleo | 2.174,0 | | | 14.015,0 | | 16.189,0 | 11,3 |
| Participação (%) | 14,1 | 33,4 | 8,1 | 35,5 | 9,0 | 100,0 | - |

Fonte: Henriques Jr., 2010

II.3 Os segmentos industriais

Esta seção vai apresentar um panorama dos segmentos industriais considerados pelo “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil” (BANCO MUNDIAL, 2010a), cujos custos de abatimento estão discriminados no capítulo III. Os setores foram escolhidos por serem aqueles tratados pelo BEN, mais o setor de refino de petróleo, incluído pelo balanço no grupo de “energéticos”. São eles: Cimento, Alumínio e metais não ferrosos, Mineração e Pelotização, Refino, Ferro e aço, Papel e celulose, Química, Cerâmica, Têxtil, Ferro-ligas e Bebidas e alimentos.

Cimento

O cimento é essencial para a produção do concreto, que por sua vez é o material de construção mais utilizado mundialmente, além de ter baixa substituição. Atualmente, o

Brasil ocupa a 8ª posição entre os principais produtores mundiais de cimento e a 5ª posição entre os seus principais consumidores, sendo responsável por cerca de 1,7% da produção mundial e 1,8% do consumo (BRASIL, 2009c).

Apesar da dispersão de suas 57 empresas pelo território nacional, este mercado é concentrado em apenas dez grandes grupos com grande concentração de fábricas no sudeste brasileiro (SNIC, 2010). São os grupos: Votorantim, João Santos, Cimpor, Holcim, Camargo Corrêa, Lafarge, Ciplan e Itambé, Soeicom e CP Cimento.

O cimento tem como principal componente o Clínquer que resulta da moagem, homogeneização e calcinação do Cal e da Sílica. Após o resfriamento, este material é moído e recebe adição do gesso e outros componentes, como escórias, pozolanas e calcário, podem também ser adicionados, caracterizando diferentes tipos de cimento. No Brasil, quase só é utilizado o processo de produção via seca, pelo qual não há adição de água na homogeneização da matéria-prima, o que o torna mais eficiente energeticamente (HENRIQUES Jr., 2010 p.49).

O setor consome grandes quantidades de energia, em especial nos fornos de calcinação. A matriz energética do setor evolui do óleo combustível como maior fonte para o carvão mineral e atualmente o coque de petróleo (BRASIL, 2010b). A partir da década de 1990, seu consumo energético específico caiu, graças à introdução de processos fabris via seca e semi-seca, e da maior utilização de aditivos (HENRIQUES Jr., 2010 p.50).

Pouco mais da metade das emissões de CO₂ desta indústria ocorrem durante a transformação físico-química do calcário em clínquer, e a outra parcela é predominantemente resultante da queima de combustíveis no forno de clínquer (SNIC, 2010). A indústria nacional está entre as mais eficazes no controle de suas emissões, devido aos processos via seca, o uso de cimentos com maior percentual de adições e o uso de biocombustíveis (BRASIL, 2010c).

As principais medidas de mitigação apontadas pelo Banco Mundial (2010b) para o setor são as seguintes: Melhorias da combustão através da implantação de pré-aquecedores de múltiplos estágios e de pré-calcinador; Reciclagem, através da utilização

de aditivos na produção; Substituição de combustíveis fósseis com alto fator de emissão como o coque de petróleo por outros de menor fator de emissão como o gás natural; Cogeração de energia pelo aproveitamento do calor gerado na fabricação do clínquer.

Alumínio e metais não ferrosos

Apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, o alumínio é o metal mais recente em termos de uso industrial. Sua produção anual, tanto nacional quanto mundial, supera a soma da produção de todos os outros metais não ferrosos, como, por exemplo, cobre zinco e silício metálico. O Brasil ocupa, atualmente, a sexta posição entre os maiores produtores de alumínio primário do mundo, e a terceira posição entre os países com maiores reservas do minério do qual o alumínio se origina, a bauxita (BRASIL, 2008). Sabe-se que hoje a reciclagem desse material atinge 38% do consumo doméstico que retorna como sucata, e, no caso das latas de alumínio, esse valor chega até 98,2% (ABAL, 2008).

A produção de alumínio primário no Brasil é realizada por seis empresas com usinas nos seguintes estados da federação: Pará, Maranhão, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Mesmo com a aparente dispersão espacial, 82% da produção de alumínio primário se concentram em três unidades de produção, no Pará, Maranhão e São Paulo. Essa produção atende aos segmentos de embalagem, transporte, máquinas e equipamentos, eletricidade, bens de consumo, e à construção civil (BRASIL, 2009).

O crescimento do setor de alumínio no Brasil e no mundo tem gerado um significativo aumento na demanda por energia devido à intensidade energética de sua produção. Seu consumo de energia elétrica pode representar até 35% dos custos de produção do setor. Ainda assim, os indicadores de consumo específico do país, tanto do alumínio quanto da alumina, apresentam uma tendência de queda nos últimos anos, já estando relativamente próximo as melhores práticas observadas (HENRIQUES Jr., 2010 p.68).

Além disso, o Brasil conta com um grande diferencial no que tange as emissões de GEE pelo setor. Como a principal fonte energética utilizada vem do Sistema Interligado Nacional, que conta com uma matriz relativamente limpa, as emissões do

setor são amenizadas. Outro dado relevante é a auto-produção de energia por parte das empresas do setor, que, segundo a ABAL corresponde a 31% da energia consumida.

O setor do alumínio representa um caso clássico de vantagens energéticas no que tange a reciclagem, e apresenta possibilidades concretas de obter reduções de energia e de emissões por processos de reciclagem e economia de materiais. Há uma economia direta nos processos que utilizam sucata, e os ganhos econômicos não se esgotam na questão da energia, uma vez que em alguns casos o material reciclável apresenta também custos inferiores ao da matéria-prima original ou virgem, afora as vantagens ambientais e sociais embutidas (HENRIQUES Jr., 2010 p.66).

A reciclagem proporciona uma economia de 95% em relação à energia utilizada para produzir o metal primário a partir da bauxita/alumina. Além dessa economia, ocorre também economia de energia na fabricação da bauxita e da alumina, que poderiam ter sua demanda reduzida pelo maior uso de sucata de alumínio (HENRIQUES Jr., 2010 p.67).

Mineração e Pelotização

O setor de mineração engloba as atividades extrativas de minérios metálicos, como o minério de ferro, e não-metálicos. Já a pelotização compreende os processos de fabricação de pelotas (pellets) para compor a carga das usinas siderúrgicas. Os minerais metálicos representam a maioria das receitas do setor, aproximadamente 65%, e dentro desta categoria o minério de ferro representa algo em torno de 70% das receitas (HENRIQUES Jr., 2010).

O mercado do setor está em sistemática expansão por conta da crescente demanda doméstica e internacional, em especial chinesa. Porém, existe uma vulnerabilidade no que se refere à especialização de suas exportações em um único produto, o minério de ferro e praticamente para um único destino, a China. Em 2009, o mercado chinês absorveu 59% do minério de ferro brasileiro e a participação desta substância no total das exportações nacionais era de 9% (BRASIL, 2010d).

Tratando-se de mineração, o processo produtivo compreende primeiramente a lavra, e depois o transporte do minério, que apresenta muitos custos, e o estéril, que

consiste na separação do minério desejado da terra e outros minérios presentes. Posteriormente, há um processo de tratamento inicial dos minérios. Já a pelletização, no caso do minério de ferro, se dá em um processo térmico no qual ocorre a concentração e aglutinação dos óxidos de ferro na forma de *pellets* (HENRIQUES Jr., 2010 p.55).

A crescente demanda dos mercados externo e interno por aço vem impulsionando o setor e com isso sua demanda energética também tem sido crescente. Sua matriz energética, composta na década de 1970 majoritariamente por óleo combustível, vem sofrendo mudanças e abrindo espaço para outros combustíveis como o carvão mineral, o coque de petróleo e recentemente, em menor escala, o gás natural (HENRIQUES Jr., 2010 p. 56).

Segundo a Vale (VALE, 2012), 96% das suas emissões no ano de 2010 foram originárias das plantas de industriais de níquel, alumínio e pelletização. Já a Samarco, afirma que a sua principal fonte de emissões é a queima de combustíveis fósseis, usados no processo de pelletização, e o consumo de óleo diesel nos caminhões fora da estrada, na mineração.

No que tange o potencial de mitigação, o setor apresenta possibilidades relacionadas às medidas de eficiência energética, através da recuperação de calor em fornos e da otimização de combustão. Além disso, o setor também possui um potencial médio de mitigação relacionada à substituição de combustíveis fósseis com alto fator de emissão pelo uso do gás natural (BANCO MUNDIAL, 2010b).

Refino

O setor de refino de petróleo é um setor estratégico. É a partir dele que se obtêm os derivados do petróleo que não só geram combustíveis para o transporte rodoviário como também provem insumos e matérias primas para diversos setores da economia.

Segundo Tavares (2010), há uma tendência mundial de concentração desse mercado em grandes e modernas refinarias onde é possível a maximização dos ganhos de escala, já que existe uma forte barreira à entrada presente no fato de que as refinarias são intensivas em capital e necessitam grandes investimentos para pequenas mudanças. Onze

das treze refinarias brasileiras pertencem a Petrobrás, sendo as duas restantes da iniciativa privada e representando apenas 2% da capacidade instalada.

A cadeia do refino depende diretamente da composição e qualidade do petróleo bruto processado e dos derivados que se deseja produzir. Assim, existem usinas simples e refinarias complexas. De forma geral, o petróleo passa por uma primeira destilação atmosférica, desse processo já se retira alguns produtos finais. No entanto, para melhorar o aproveitamento e retirar derivados mais nobres existem processos de craqueamento, fracionamento e reforma que possibilitam maior aproveitamento da matéria prima (HENRIQUES Jr., p.82).

Existe uma tendência ao aumento da energia consumida por barril produzido no setor de refino do país. Isto porque se tem utilizado maior volume de petróleo nacional, mais pesado; há um aumento crescente da produção de diesel; o aumento nas exigências ambientais e nos requisitos de qualidade dos derivados. Quanto à matriz energética do setor, em 2006, o gás de refinaria era responsável por 60% enquanto o óleo combustível participava em 19% e o gás natural 14,6%. Ademais, os GLP e a eletricidade tinham pequena participação (HENRIQUES Jr., p.83).

No que se refere as suas possíveis medidas de mitigação, segundo o Banco Mundial (2010b), o setor se destaca no âmbito da cogeração de energia através de subprodutos derivados de combustíveis fósseis de alguns processos fabris, como o gás de refinaria. Estes combustíveis gasosos já teriam algum tipo de queima dentro das próprias empresas onde foram gerados e, através da cogeração, poderiam ter uma aplicação mais eficiente deslocando energia elétrica da rede. Além disso, o setor de refino no Brasil já emprega, como medida de mitigação, a técnica de integração de processos, que busca a otimização de projetos de trocadores de calor e de redes de trocadores.

Ferro e Aço

Atualmente, o Brasil é o nono maior produtor de aço bruto do mundo, e primeiro da América Latina. Cerca de 80% da demanda nacional por aço são oriundos da construção civil, do setor automotivo e do setor de bens de capital. Apesar de o aço

produzido no país atender principalmente à demanda interna, seu excedente representa um importante produto para as exportações nacionais (IBS, 2009).

Segundo o IBS³ (2010), a produção de aço no país conta atualmente com 27 usinas, administradas por oito grandes grupos empresariais. Além deles, existem apenas pequenos produtores que fornecem aço exclusivamente para fundições, representando uma única fase do processo. Segundo IBGE (2005), o setor de fabricação de aço e derivados gerou um valor adicionado na ordem de 20.459 milhões de reais em moeda corrente.

A cadeia produtiva do aço engloba quatro grandes setores da economia: Indústria extrativista; metalúrgica; os setores consumidores de aço; Setor de Beneficiamento e Comercialização de Co-produtos, Resíduos e Sucata (IBS, 2010). Suas principais formas de produção são: através da redução do minério de ferro e sucata em alto fornos, em que se utilizam coque/carvão e a redução direta em fornos elétricos.

A siderurgia é um setor energo-intensivo que utiliza o carbono para a geração de energia e também como agente redutor do minério de ferro no caso de usinas integradas (BRASIL, 2000). A etapa da produção do ferro-gusa consome mais da metade do total de energia utilizado por estas usinas, devido à utilização do coque como agente redutor na transformação do minério. A participação do Gás Natural na matriz energética do setor é crescente, em especial na última década, porém, o carvão mineral ainda é seu principal combustível. Reformas e modernizações nas plantas vêm gerando redução de consumo energético.

Parte do carbono utilizado no processo é incorporado aos produtos e a outra parte é emitida na forma de CO₂. Cerca de 75% das emissões de CO₂ provenientes da fabricação de aço, são geradas durante a produção de ferro-gusa no alto forno, as demais resultam do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor (HENRIQUES Jr., 2010).

As maiores possibilidades de mitigação do setor, segundo o Banco Mundial (2010b) estão na eficiência energética, onde possui diversidade de possibilidades;

³ Instituto Brasileiro de Siderurgia

medidas de redução da utilização do coque de petróleo; e a reciclagem, que além de tudo reduz o consumo de combustíveis fósseis. Porém, existem problemas no que concerne esta reciclagem como a limitação técnica e a má qualidade da sucata.

Papel e Celulose

Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor de celulose do mundo, e o nono maior produtor de papel. O setor tem apresentado uma taxa média de crescimento anual na ordem de 7,5% para indústria de celulose e 5,7% para indústria do papel. A pasta de celulose é o produto mais exportado do setor, sendo também muito significativo para as exportações do país. No ano de 2009, suas exportações obtiveram saldo comercial de US\$ 3,7 bilhões, representando aproximadamente 15% da balança comercial brasileira (BRACELPA, 2010). Segundo o IBGE (2005), em 2005, o setor possuía um valor agregado de 10.810 em milhões de Reais.

Não se pode considerar o segmento do papel muito concentrado, uma vez que sua empresa líder detinha, em 2008, apenas 18% da participação do mercado, e as quatorze principais empresas concentravam, em 2008, pouco mais de 60%. Já entre os produtores de pasta celulósica, sua principal empresa produtora detinha, em 2008, 24,5% do mercado enquanto as dezoito maiores produtoras concentravam 98% do mesmo (BRACELPA, 2010).

A maior parte das etapas do processo produtivo desse setor é energo-intensiva. Porém, ainda que se utilizem outras formas de geração de energia como o óleo combustível e o gás natural, o licor preto, resultante do processo no qual o licor branco extrai a lignina presente na madeira, vem se tornando responsável pela principal parcela da matriz energética dessa indústria. Além disso, embora a produção do setor esteja em trajetória crescente, estudos mostram que o seu consumo específico vem diminuindo ao longo dos anos (HENRIQUES Jr., p.78).

No que tange as medidas de mitigação, o setor possui potencial de implantação de novos processos; boas possibilidades quanto à reciclagem; substituição de combustíveis fósseis por biomassa sob forma de lixívia negra, subproduto da sua

produção; utilização de energia solar e já apresenta resultados quanto à substituição de biomassa não-renovável e à cogeração de energia (BANCO MUNDIAL, 2010b).

Químicos

O segmento químico é o terceiro setor industrial brasileiro em participação no PIB e é base para o processo de inúmeras outras indústrias de transformação. É um setor extremamente diversificado e já houve divergências acerca do que deveria ou não ser considerado parte dele. Desta forma, o IBGE juntamente com a ABIQUIM⁴ definiu pela CNAE⁵ que as suas classificações 20 e 21 corresponderiam à indústria química.

Porém, o presente trabalho, assim como o Banco Mundial (2010b), só trata em detalhes as produções de Petroquímicos, Fertilizantes e Cloro-álcalis, tratando as demais de maneira agregada.

Petroquímica: esse segmento produz matérias-primas utilizadas pelas indústrias de produtos orgânicos e praticamente todos os insumos para as indústrias de polímeros, englobando termoplásticos, elastômeros e resinas. Sua cadeia produtiva consiste em uma sequência de processos de transformação (HENRIQUES Jr. 2010).

O mercado petroquímico tem como característica envolver cadeias produtivas intensivas em capital e, por conseguinte, elevadas barreiras à entrada. Essas barreiras também podem ser impostas pela dificuldade no acesso as matérias primas básicas: nafta e gás natural. Portanto, esse é um mercado concentrado. O mercado de petroquímica básica, ou de primeira geração, é controlado por duas grandes centrais petroquímicas: Brasken e Quattor. Já na segunda e terceira geração, o mercado apresenta maior diversidade com dezenas de empresas trabalhando com resinas termoplásticas (segunda geração) e milhares na indústria de transformação (terceira geração) ABIQUIM (2009).

No que se refere ao consumo energético, segundo Henriques (2010), considerando-se todo o segmento petroquímico, com todos os produtos básicos e intermediários, o consumo total de energia deve estar em cerca de 2,5 milhões de tep, o que corresponde a 34% do consumo total do setor químico.

⁴ Associação Brasileira da Indústria Química

⁵ Classificação Nacional de Atividades Econômicas

Fertilizantes: Fertilizantes são compostos minerais ou orgânicos utilizados na agricultura como forma de suprir as deficiências solo. Em um país agroprodutor e agroexportador como o Brasil, esse setor é estratégico para a economia nacional.

Segundo ANDA (2009), o Brasil é o quarto maior consumidor de mundial de nutrientes para a formulação de fertilizantes, representando cerca de 6% do consumo mundial, atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Já na produção, o país contribui com cerca de 2% do total mundial. A taxa de crescimento de uso desse tipo de químico é maior que a capacidade produtiva de indústria doméstica.

De acordo com Henriques (2010, p.61 *apud* ABIQUIM, 2007), a produção dos produtos intermediários da cadeia dos fertilizantes é responsável por cerca de 34% da produção física total da indústria brasileira de químicos, dos quais se destaca a produção de ácido sulfúrico. Sua cadeia produtiva tem como insumo básico a amônia, obtida através da combinação de nitrogênio e de hidrogênio. Ainda segundo Henriques Jr. (2010), o segmento é composto por trinta plantas industriais, cujo consumo total de energia em 2006 foi de cerca de 1,5 milhão de tep, de acordo com estimativas do INT (2007), tendo cerca de 60% deste consumo sido destinado à produção de amônia.

Cloro-álcalis: esse ramo da indústria química inclui a fabricação de cloro, hidróxido de sódio e carbonato de sódio. As aplicações desses produtos são variadas. O hidróxido de sódio é empregado na própria indústria química e petroquímica (29%), na produção de papel e celulose (21%) e na metalurgia (18%). Já o cloro tem grande parte da sua demanda na petroquímica seguida pela indústria papeleira, enquanto o carbonato de sódio (barrilha) tem aplicação na indústria de sabões e detergentes, vidros e em outros processos químicos (ABIQUIM, 2007 *apud* HENRIQUES, 2010).

Outros: Elastômeros, termoplásticos e resinas são seguimentos derivados da petroquímica de segunda e terceira geração. Os elastômeros incluem a produção de borrachas de forma geral estireno, butadieno, polibutadieno, borracha nitrílica e látex de vários tipo. Já nos termoplásticos destacam-se os polietilenos, o cloreto de polivinila (PVC) e o poliestireno; além de outros plásticos como: poliamidas, policarbonato e PET.

No grupo das resinas os tipos predominantes são as alquídicas, aminadas, de poliéster e epóxi.

Além desses segmentos, há também o bloco produtivo chamado de química fina, cujo nome deriva dos altos valores de seus produtos. Nesse grupo estão produtos farmoquímicos, corantes e pigmentos, e aditivos em geral. (HENRIQUES, 2010)

No que concerne o consumo energético, em 2010 foram consumidos na indústria química de forma geral, 7,4 milhões tep. As principais fontes de energia utilizada são, respectivamente, fontes secundárias de petróleo, energia elétrica e gás natural (BRASIL, 2010). No horizonte até 2030 as medidas de mitigação consideradas com alto potencial para o setor são na área de eficiência energética, troca de intercombustíveis e na co-geração de energia. Estas opções têm redução potencial de emissões de até 24% sobre o cenário base até 2030 (HENRIQUES Jr., 2010 e BANCO MUNDIAL 2010b).

Cerâmica

O setor cerâmico é um setor amplo e heterogêneo da indústria, englobando diversos produtos. Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2012), o conceito de cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos por tratamentos em altas temperaturas. O setor é composto por dois subsetores bastante distintos: o segmento da cerâmica vermelha, que inclui produtos da construção civil, como tijolos, telhas, canos, e o segmento da cerâmica branca, que inclui materiais de maior valor agregado, de mais alta tecnologia, como a cerâmica de revestimento sob forma de azulejos, lajotas, a cerâmica sanitária, a louça de mesa, refratários, etc. (HENRIQUES, 2010).

O Brasil era, em 2010, o quarto maior produtor mundial de cerâmica branca, sendo ainda o segundo maior produtor de revestimentos cerâmicos do mundo. Seu mercado no que tangem os revestimentos não é concentrado. De acordo com MME (BRASIL, 2009 p.11), eram, em 2008, 86 empresas, com 103 plantas, e as empresas liderem não chegam a concentrar 15% da produção nacional. Já as outras cerâmicas brancas têm mercados mais concentrados. As louças sanitárias e de mesas, contam apenas com 18 e 15 empresas respectivamente, e os isoladores elétricos possuem apenas sete

empresas operando. As cerâmicas vermelhas apresentam mercado disperso com um total de 5500 firmas no total e predominância de pequenas empresas (HENRIQUES Jr., 2010 e SEBRAE, 2008).

Segundo Henriques Jr. (2010 p. 79), o consumo energético do setor cerâmico pouco cresceu entre 1970 e 2007, tendo apresentado um crescimento médio de 2,5% a.a.. De acordo com o BEN 2011 (BRASIL, 2011), porém, na primeira década do milênio este crescimento médio passou para 4,5% a.a. e O setor cerâmico consumiu em 2010 aproximadamente 4,5 milhões de tep. O grande problema que este consumo apresenta é o fato de que mais de 50% deste consumo tem como combustível a lenha, e Henriques Jr. (2010) estima ainda que entre 60% e 80% da lenha utilizada pelo setor seja proveniente de florestas nativas.

As medidas de mitigação para as quais o setor possui bom potencial são em especial medidas de eficiência energética, a energia solar térmica para operações de secagem, a economia de materiais através redução da perda durante o processo produtivo, e a substituição de biomassa não-renovável, já que é muito intensiva em lenha proveniente de mata nativa. De acordo com o Plano Decenal de expansão de Energia (PDE 2019) (BRASIL, 2010), o segmento destaca-se dos demais industriais em termos de potencial de conservação de energia com possibilidades de conservar 7,7% do seu consumo total energético, frente a uma média do setor industrial de 4,2%.

Têxtil

O setor têxtil é um segmento tradicional da indústria brasileira. Apesar do declínio que se observou no setor nos anos 1990 por desatualização tecnológica (HENRIQUES Jr., 2010 p.69), segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil (2012), o Brasil ocupava, em 2011, a posição de quinto maior produtor mundial de têxteis. Sendo o terceiro maior produtor mundial de malhas.

Em termos de mercado, o setor é bastante desconcentrado, possuindo atualmente cerca de 30.000 empresas (ABIT, 2012) entre indústrias de grande porte com processos

completos de fiação, tecelagem, beneficiamento e confecção, e micro empresas no ramo da confecção (HENRIQUES Jr., 2010 p.69).

Seu consumo energético é baixo, tendo consumido apenas 1,2 milhões de tep em 2010, além de praticamente não ter apresentado qualquer crescimento na última década. De 1970 a 2010, Segundo Henriques Jr. (2010), o crescimento médio do consumo energético do setor foi de 1,2% a.a. De acordo com o BEN 2011 (BRASIL, 2011), 60% da matriz energética do setor é de composta por eletricidade e 27% por gás natural.

No que tange seu potencial de mitigação, segundo o Banco Mundial (2010b p.29), o setor possui bom potencial de abatimento em eficiência energética através da adoção de novos processos; possibilidades de trocas intercombustíveis fósseis, energia solar térmica para os processos de secagem, e redução de biomassa não renovável, já que o setor utiliza lenha, ainda que em menor escala.

Ferro-ligas

O segmento industrial de ferro-ligas representa a produção de ligas metálicas, insumo indispensável à siderurgia (BANCO MUNDIAL 2010b e HENRIQUES Jr. 2010). São ligas concentradas de ferro e mais um ou mais metais, cuja produção envolve o processo metalúrgico de redução, que resulta em emissões de CO₂ (BRASIL, 2010). É o segmento da indústria nacional que tem apresentado maior crescimento nas últimas décadas, e o país é atualmente o sexto maior produtor mundial, responsável por aproximadamente 4,5% da produção total.

O setor é fortemente voltado para o mercado externo, estando entre os setores brasileiros que mais exportam em valor. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Ferro Ligas, a produção nacional supre 95% da demanda interna e exporta 56% da sua produção. São apenas 11 empresas atuando no setor, o que faz dele um setor bastante concentrado.

Seu consumo energético é baixo, tendo atingido cerca de 1,6 milhões de tep em 2010, de acordo com o BEN 2011 (BRASIL 2011). Ainda segundo este balanço, 39% da sua matriz energética é composta por eletricidade e 41% por carvão vegetal. Entretanto, o

consumo desta biomassa é majoritariamente advindo de florestas de eucalipto plantadas, e, segundo a ABRAFE, a indústria de ferro-ligas e silício metálico possui aproximadamente 120 mil hectares destas florestas para suprir suas necessidades energéticas.

Como o setor é recente na indústria brasileira, com inserção significativa somente na década de 1980 (BRASIL, 2009b p. 5), pode-se observar uma tendência às adaptações que a competitividade internacional requer em termos ambientais. Desta forma, o setor possui poucas possibilidades de abatimento, com potencial reduzido de substituição de biomassa não renovável e maior utilização de gás natural. São opções com altos custos e baixo potencial de abatimento.

Bebidas e Alimentos

O setor de bebidas e alimentos é mais um setor fortemente diversificado da indústria brasileira. Engloba produtos como açúcar, carnes, aves, pescados, laticínios, café, cervejas, refrigerantes, massas, pães, biscoitos, grãos diversos, óleos, gorduras, congelados prontos, entre outros. Segundo a ABIA (2008 *apud* HENRIQUES Jr., 2010 p. 72), o Brasil é atualmente o segundo maior produtor mundial de biscoitos, o terceiro maior em massas e refrigerantes, o quinto maior em cervejas e laticínios e, além disso, é o maior exportador de aves e bovinos do mundo em toneladas.

É um setor tradicional da indústria nacional, com processos fabris de baixa complexidade que incluem lavagem, secagem, pasteurização e concentração, todos realizados a baixas temperaturas (HENRIQUES Jr., 2010 p.72). O setor, no entanto, é o maior consumidor de energia desta indústria. Em 2010, segundo o BEN 2011 (BRASIL, 2011), foram consumidas 23,6 milhões de tep.

Como alguns itens são produzidos em quantidades muito maiores que outros, seu consumo específico acaba por influenciar consideravelmente o consumo absoluto, como é o caso do açúcar, maior produção em toneladas do setor (HENRIQUES Jr., 2010). Por

conta desta produção, o bagaço de cana é o insumo energético mais utilizado pelo setor, sendo responsável por 75% da sua matriz energética (BRASIL, 2011). Seus outros combustíveis relevantes são a lenha e a eletricidade, ambas com aproximadamente 9% da matriz.

No que tange as suas opções de mitigação, o setor tem possibilidades de melhoras de eficiência energética através de novos processos como pasteurização por feixe de elétrons, recuperação de calor de baixas temperaturas, a adoção de coletores de energia solar térmica para o cozimento, secagem e esterilização, e a cogeração de energia, com potencial somente no segmento sucroalcooleiro.

CAPÍTULO III. A curva MACC para a indústria brasileira

III.1 As opções tecnológicas para mitigação

O Estudo de baixo Carbono para o Brasil (BANCO MUNDIAL, 2010a) avalia um conjunto de tecnologias já disponíveis no mercado, organizadas em seis grupos de opções de mitigação a serem considerados pelos os diferentes subsectores. São eles:

Eficiência Energética: Por definição, eficiência energética é: “produzir um determinado bem, produto ou serviço, fazendo uso de uma menor quantidade de energia, mantendo, entretanto, a qualidade do produto ou o padrão de serviço.” (HENRIQUES Jr., 2010 p.90). Segundo o Banco Mundial (2010b p.27), a preocupação com o uso eficiente da energia já existe há algum tempo, em especial após o segundo choque do petróleo, em 1979, elevando os custos da indústria com energia e assim tornando o desperdício de energia uma forma de redução da competitividade.

Para realizar uma avaliação mais detalhada das opções contidas no grupo de eficiência energética, dividiu-se este grupo em sete medidas:

Melhorias de Combustão: Segundo Henriques Jr. (2010 p.91), os processos de combustão

estão presentes em quase todos os segmentos da indústria e são cruciais para a otimização do consumo de energia em equipamentos de altas temperaturas. Porém, tais processos costumam apresentar problemas de ineficiência energética, por limitações dos equipamentos ou por questões operacionais, ou seja, equipamentos desregulados (BANCO MUNDIAL, 2010b p. 27). De maneira geral, as formas mais simples e baratas de se obter melhorias de combustão são, de acordo com Banco Mundial (2010b, p.27), o controle dos gases de combustão, o ajuste da razão combustível e a manutenção de queimadores em caldeiras e fornos industriais. Outras soluções possíveis, porém mais caras, são queimadores de rendimento superior e utilização de ar enriquecido com oxigênio.

Recuperação de calor: A recuperação de calor em processos consiste no aproveitamento de calor residual de diversos processos industriais em temperaturas intermediárias (entre 180°C e 450°C), reduzindo a demanda por energia externa (BANCO MUNDIAL, 2010b p.27 e HENRIQUES Jr., 2010 p.97). De acordo com Henriques Jr. (2010b, p.97), correntes quentes de diferentes fluidos pré-aquecem outros fluidos do processo através de recuperadores e trocadores de calor. Quanto maiores os diferenciais de temperatura, maiores os ganhos energéticos; quanto menores os diferenciais de temperatura, maiores os custos, pois maiores têm de ser as superfícies de trocas de calor. Esta opção se aplica em especial às indústrias químicas, petroquímicas e de refino de petróleo.

Recuperação de vapor: A recuperação de vapor consiste em uma forma de recuperação de calor através da otimização, geração, distribuição e do uso de vapor. Como isto em geral envolve processos de baixas temperaturas (até 180°C), esta opção tende a apresentar baixo investimento necessário e rápido retorno econômico. Além disso, os sistemas de vapor estão presentes em diversos segmentos da indústria, como papel e celulose, bebidas e alimentos, têxtil e químicos (BANCO MUNDIAL, 2010b p.28).

Recuperação de calor em fornos: esta forma de recuperação de calor se dá em processos de elevadas temperaturas (acima de 450°C), empregando-se recuperadores de calor que

reaproveitam o calor proveniente de gases de exaustão dos fornos. São utilizados para preaquecer o ar de combustão, cargas ou fluidos de processos, podendo ainda ser utilizados para a geração de vapor em sistemas de maior porte. As indústrias que comumente utilizam esta opção são indústrias intensivas em calor, como cimento, aço, petroquímica e pelletização. Embora esta prática já esteja bastante difundida, ainda há potencial considerável de economia de energia através do seu emprego na indústria brasileira. Os empecilhos que se apresentam são o alto investimento necessário e os retornos de médio a longo prazo (BANCO MUNDIAL, 2010b p.28).

Novos processos: a adoção de processos mais modernos e energeticamente eficientes pode significar o emprego de equipamentos de tecnologia inovadora, uma nova organização do processo produtivo, uma mudança na utilização de insumos, englobando tanto as tecnologias já disponíveis no mercado, quanto tecnologias atualmente em desenvolvimento, com perspectivas de entrar no mercado em um horizonte de 10 a 20 anos. São bons exemplos da adoção de novos processos a modernização dos fornos de refino e fusão de aço a partir da década de 1970 e a migração da produção cimenteira de um processo úmido para um processo seco ou semi-seco, menos intensivo em calor (BANCO MUNDIAL, 2010b p.28).

Cogeração de Energia: De acordo com Henriques Jr. (2010 p. 114 *apud* NOGUEIRA, 1996), a cogeração de energia é, por definição “a produção simultânea e seqüenciada de energia térmica e elétrica, a partir de um mesmo combustível, possibilitando uma maior eficiência energética do sistema como um todo, em comparação com a produção independente das duas formas de energia.”. A medida já vem sendo adotada por setores como químico/petroquímico, papel e celulose, refino de petróleo e aço, já que a cogeração proporciona maior economia de energia e segurança do que a energia elétrica adquirida das distribuidoras (HENRIQUES Jr., 2010 p. 114).

Outras medidas de eficiência energética: as outras medidas que estão incluídas no grupo de eficiência energética são, de uma maneira geral, operacionais. Envolvem medidas de

planejamento, controle e manutenção como, por exemplo: planejamento de produção, instalação ou reparo de isolamentos térmicos, eliminação de vazamentos de vapor ou calor, regulação e controle de temperatura de equipamentos, redução de pressão em sistemas de vapor. Estas medidas tendem a apresentar investimentos baixos e prazos de retorno extremamente rápidos (HENRIQUES Jr., 2010 p.104).

Reciclagem e economia de materiais: a reciclagem de materiais proporciona em alguns casos economias em termos de matérias-primas, e em outros casos economia de energia, nos casos em que subprodutos do processo de produtivo são utilizados para geração de energia. Desta forma, considera-se que esta opção poderia estar inserida no conjunto da eficiência energética. Os segmentos da indústria com maior potencial de reciclagem são o cimento, pelo uso de aditivos que poupam a utilização de clínquer, papel e celulose, tanto pela reciclagem do papel quanto pela utilização de lixívia negra para a geração de energia, a cerâmica, pela redução das perdas de materiais, e ferro e aço e alumínio, ambos pela reutilização da sucata (BANCO MUNDIAL, 2010b p.30 e HENRIQUES Jr., 2010 p.105).

Substituição inter-energéticos (combustível fóssil por combustível fóssil): esta medida trata da substituição de combustíveis fósseis de altos níveis de emissões, como óleo combustível, coque de petróleo e carvão mineral para combustíveis também fósseis, porém com níveis de emissões mais baixos como o gás natural. Estas trocas, no entanto, também vêm sendo feitas entre energéticos de alto fator de emissões no Brasil, desde a década de 1980, como por exemplo, o segmento do cimento que em um primeiro momento substituiu o óleo combustível por carvão mineral, passando posteriormente para a utilização de coque de petróleo.

De maneira geral, Segundo Henriques Jr. (2010 p.110), não são representativas as dificuldades técnicas que se apresentam para a implementação do gás natural e as adaptações necessárias tendem a ser pouco complexas e de baixo custo. Porém, existe um problema no que tange a oferta e a distribuição do gás, encarecendo muito a opção.

Substituição de fontes fósseis por fontes renováveis: Este grupo engloba duas opções distintas: a utilização de biomassa renovável e o emprego de energia solar.

Uso de biomassas renováveis: as biomassas renováveis consideradas pelo Banco Mundial (2010b, p.33) consistem em lenha, carvão vegetal e resíduos como a lixo negra e o bagaço de cana. Estas biomassas têm sido utilizadas como combustível em diversos segmentos da indústria: a lenha, considerada neutra em carbono se proveniente de florestas plantadas, é amplamente utilizada em especial nos segmentos de alimentos e bebidas, papel e celulose e cerâmica. O bagaço de cana já é muito representativo para a matriz energética brasileira e seu consumo traçou uma trajetória crescente na última década, tendo, em 2009, sido responsável por 21,2% do consumo energético total do setor industrial brasileiro (MME, 2010 p.79).

No que concerne o carvão vegetal, é um combustível de notória participação nos segmentos ferro e aço e ferro-gusa, tendo representado 20,3% da matriz energética destes segmentos em 2009, segundo o Balanço Energético Nacional 2010 (MME, 2011 p.79). No entanto, a maior parte deste carvão vegetal não é originário de florestas plantadas para este fim, tornando-o não renovável. No caso de segmento de papel e celulose, a lixo negra, apesar de subproduto do seu processo produtivo, é contabilizada como uso de biomassa renovável. Assim, a lixo negra e a lenha de florestas plantadas com fim energético somam 85% dos insumos totais para fins térmicos do segmento (BANCO MUNDIAL, 2010b p.33).

Por fim, existem outros resíduos úteis como biomassa combustível provenientes de processos agroindustriais que compreendem resíduos da soja, resíduos do milho, palha e cascas de arroz e folhas e pontas da cana de açúcar que, segundo o PNE⁶ 2030 *apud* Henriques 2010 p.111, tem potencial para gerar uma oferta energética de 184,6 milhões de tep.

⁶ Plano Nacional de Energia

Energia solar térmica: A utilização da energia solar térmica considerada consiste em sistemas complementares para o aquecimento da água empregada em processos de baixas temperaturas em segmentos que possuem procedimentos de cozimento, lavagem, secagem, entre outros. Os segmentos com melhores oportunidades de adoção das placas solares são papel e celulose, cerâmica, bebidas e alimentos e têxtil, mas, existe uma restrição para sua implementação no que concerne à disponibilidade de área para instalação dos coletores solares (BANCO MUNDIAL, 2010b p. 35).

Redução do uso de biomassas não renováveis (provenientes do desmatamento): Esta é uma medida de notória importância, uma vez que as biomassas não renováveis vem sendo amplamente empregadas na matriz energética industrial brasileira. Segundo Henriques (2010, p. 113), cerca de 70% do carvão vegetal utilizado no Brasil é proveniente de desmatamentos.

A medida consiste na substituição da lenha e do carvão vegetal de florestas nativas pelas biomassas oriundas de florestas plantadas, em especial florestas de eucalipto. De acordo com Henriques Jr. (2010 p. 113 *apud* Embrapa, 2007 e 2003), na silvicultura atual são praticados rendimentos que variam entre 30 e 40 m³/ha/ano, mas se pode chegar a 100 m³/ha/ano adotando-se mudas e técnicas de irrigação e tratamento do solo adequadas. Acontece que a medida requer investimentos altos e prazo médio de retorno, tendo o eucalipto um prazo de sete anos para o crescimento das árvores (BANCO MUNDIAL, 2010b p.35). Com isso, se fazem necessárias ações nos campos político e jurídico para combater a extração de madeira nativa e incentivar a adoção desta medida.

III.2 Metodologia de Cálculos

Essa seção visa apresentar a metodologia utilizada por Maurício Henriques para formação dos dados e pelo trabalho do Ipea para construção da curva.

Os cálculos dos custos que serão apresentados foram realizados por Maurício Henriques Jr. durante o processo de construção do Estudo de baixo Carbono para o Brasil,

desenvolvido pelo Banco Mundial entre 2008 e 2010. A metodologia utilizada foi muito semelhante àquela utilizada pelo para cálculo dos custos agregados para a indústria como um todo, apresentada no Capítulo I. Foram considerados um cenário base, no qual a indústria se mantém na trajetória atual de emissões e de mudanças tecnológicas, e um cenário alternativo, pelo qual as opções de mitigação vão sendo implementadas, no período de 2010 a 2030.

Como o cenário base não conta com a implementação de nenhuma das medidas propostas, seu investimento é zero e seus custos são apenas os custos com energia. Para calculá-los, supôs-se um preço médio do barril de petróleo no período de US\$40, tomado como base para o cálculo dos preços médios de diversos outro energéticos utilizados. Assim, os custos considerados de cada setor para um cenário base foram obtidos ano a ano da seguinte forma:

Onde: i = Energético utilizado pelo setor

E_i = Consumo do energético i

P_{Ei} = Preço do energético i

Considerando-se um crescimento médio anual da economia de 3,7% no período da análise, que é aplicado a todos os setores, e uma taxa de desconto também uniforme de 8% a.a., calculam-se os custos de se implementar cada opção de mitigação dentro de cada setor. Para tal, considera-se um custo total de bens de capital no período estimado com base na experiência dos autores, e que é exógeno a estes cálculos. Assim, apenas se anualiza tais custos de bens de capital com o fim de obter um custo total anual para que se pondere a média final do custo por tonelada evitada.

—

Onde: C_K = Custo total com bens de capital

= ano de 2010 a 2030

P_R = Prazo de retorno da opção de mitigação, estabelecido pelos autores

Assim, o custo do investimento total considerado para a implementação de cada medida dentro de cada setor é a soma do custo de bens de capital a outros custos agregados.

A evolução das emissões de CO₂e foi considerada, no cenário base, com uma taxa de crescimento igual àquela referente à economia, ou seja, 3,7%. Com isso, o cálculo das emissões anuais foi feito da seguinte forma:

Onde: = Emissões de equivalente de dióxido de carbono

ano de 2010 a 2030

As emissões do cenário alternativo são exógenas a este cálculo, determinadas pelos autores com base na redução do consumo de cada combustível que a medida consegue em cada setor.

O custo total do cenário de baixo carbono é considerado o custo total do investimento na implementação da medida somado ao custo com energia, que tende a ser expressivamente inferior àquele observado no cenário base. O resultado líquido consiste no custo total do cenário alternativo descontadas as suas receitas, quando há, em medidas como a cogeração de energia e a redução de biomassa por desmatamento que podem gerar a venda de excedentes energéticos, subtraído ainda esta mesma conta referente ao cenário base.

Os autores estimaram a vida útil dos bens de capital para cada medida, calculando assim o fator de recuperação do capital. Aplicando-se o fator de recuperação do capital

ano a ano e subtraindo deste valor a economia anual com energia, se obteve um custo nivelado anual. Este custo é dividido pelas toneladas de CO₂e evitadas no mesmo ano, chegando a um médio custo da tonelada evitada para cada ano. Por fim, foi calculada uma média dos custos anuais por tonelada evitada ponderada pelo volume total de emissões evitadas a cada ano para se obter um custo médio da tonelada de CO₂e evitada no período de 2010 a 2030

Assim, tendo acesso a estes cálculos, se pôde perceber que o potencial total de abatimento que as 63 opções do cenário alternativo oferece frente às emissões do cenário base é de 34% das emissões totais. Organizamos então os custos referentes a cada combinação de medida e setor em ordem crescente e calculamos a participação que cada medida possui nestes 34%. Com isso, foi possível identificar quantos por cento das emissões tendenciais da indústria brasileira se pode abater caso se implementem conjuntos destas medidas, e a estes percentuais chamamos de *share*:

Onde: *share* da opção de mitigação

Gerando um gráfico de dispersão de pontos no qual o eixo X representa o *share* e o eixo Y representa os custos em Dólares americanos de 2009 por tCO₂e, obtivemos a curva que será apresentada na sessão a seguir.

III.3 Oportunidades de Mitigação Identificadas

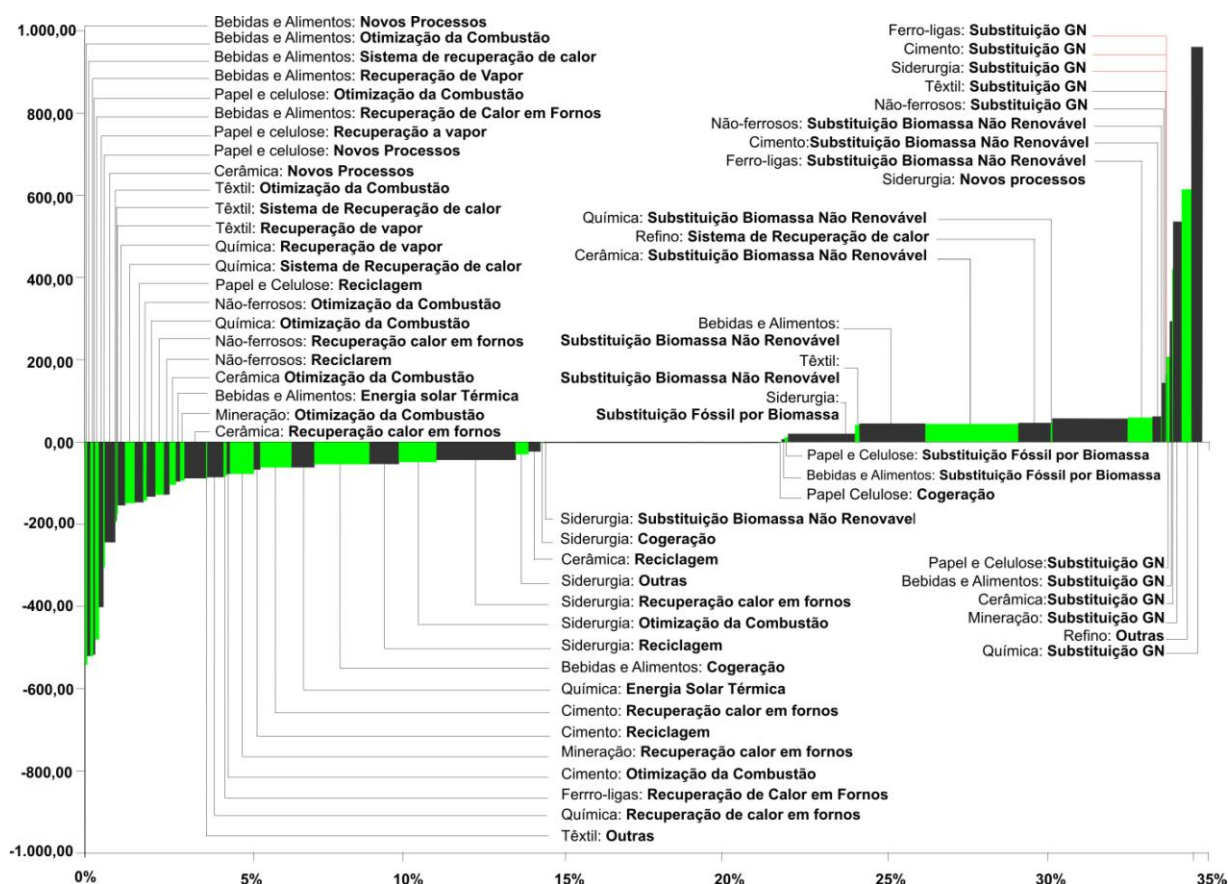
Essa seção vai analisar a curva MAC construída, apresentando a situação da indústria brasileira em termos de oportunidades de abatimento de GEE, colocando as ineficiências que os custos demasiado negativos representam; o real potencial, que se encontra na parte central do gráfico; e as medidas que apresentam custos extremamente altos com baixo potencial de abatimento, caracterizando a zona da curva onde não se deve concentrar incentivos.

O conceito de potencial de mitigação, segundo Henriques Jr. (2010 p.122), expressa o grau de redução de GEE “que pode ser conseguido através de uma determinada medida a um custo definido por tonelada de carbono evitado num certo período de tempo, em comparação com uma linha de base.”. E este potencial pode ser calculado sob três diferentes pontos de vista.

O primeiro é o potencial técnico, ou seja, a o potencial da tecnologia mais eficiente disponível que funciona como um limite superior do abatimento que se pode alcançar. O segundo é o potencial econômico, que apresenta restrição com relação ao primeiro. Está relacionado aos custos e ao investimento necessário, que tornam a medida economicamente atrativa ou não, ainda que seja tecnicamente viável. E o terceiro, ainda mais restritivo, é o potencial de mercado, que, segundo Henriques Jr. (2010 p.123) incorpora apenas medidas viáveis técnica e economicamente, mas que têm de fato chances de serem adotadas. Reflete preferências do consumidor (empreendedor) diante de um conjunto de fatores externos, incluindo o mercado propriamente dito, comportamento de preços de energéticos, evolução tecnológica, políticas de governo e barreiras de um modo geral (HENRIQUES Jr., 2010).

Como se pode observar, a curva abaixo apresenta medidas com custos extremamente negativos, o que significa que, de acordo com estes cálculos, a implementação destas medidas geraria expressivas receitas, porém, com potencial de abatimento muito reduzido. Estas medidas são em sua maioria correspondentes ao grupo da eficiência energética, correspondendo às expectativas de semelhança às curvas construídas para outros países do mundo. A China, por exemplo, tem na cogeração de energia em especial nos setores de cimento, mineração e siderurgia as suas melhores possibilidades de abatimento de GEE (McKinsey & Co., 2009b). O mesmo acontece com a Rússia e a Índia (McKinsey 2009c e 2009d), caracterizando os componentes do BRICs, nos quais o Brasil se inclui.

Figura 5: MACC para a indústria brasileira (US\$/tCO₂e)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Seroa da Motta e Castro (2011).

Os dados para elaboração desta curva estão listados na tabela abaixo:

Tabela 1: Custos (US\$/tCO₂e) por setor, medida e share

| Setor | Tecnologia | Custo (US\$/tCO ₂ e) | Share |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|
| Bebidas e Alimentos | Novos Processos | -998,96 | 0,02% |
| Bebidas e Alimentos | Otimização da Combustão | -541,53 | 0,11% |
| Bebidas e Alimentos | Sistema de Recuperação de calor | -519,95 | 0,20% |
| Bebidas e Alimentos | Recuperação de Vapor | -519,95 | 0,29% |
| Papel e Celulose | Otimização da combustão | -517,57 | 0,35% |
| Bebidas e Alimentos | Recuperação calor/forno | -480,87 | 0,47% |
| Papel e Celulose | Recuperação de Vapor | -402,08 | 0,60% |
| Papel e Celulose | Novos Processos | -305,72 | 0,65% |
| Cerâmica | Novos Processos | -243,68 | 0,98% |
| Têxtil | Otimização da combustão | -197,07 | 0,99% |

| | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|
| Têxtil | Sistema de Recuperação de calor | -191,49 | 1,01% |
| Têxtil | Recuperação de vapor | -176,08 | 1,05% |
| Química | Recuperação de vapor | -156,52 | 1,29% |
| Química | Sistema de Recuperação de calor | -151,29 | 1,57% |
| Papel e Celulose | Reciclagem | -146,76 | 1,84% |
| Não-ferrosos | Otimização da Combustão | -141,00 | 1,94% |
| Química | Otimização da combustão | -134,72 | 2,23% |
| Não-ferrosos | Recuperação calor/forno | -129,55 | 2,50% |
| Não-ferrosos | Reciclagem | -129,54 | 2,67% |
| Cerâmica | Otimização da Combustão | -105,73 | 2,87% |
| Bebidas e Alimentos | Energia Solar Térmica | -96,59 | 3,01% |
| Mineração | Otimização da combustão | -93,69 | 3,15% |
| Cerâmica | Recuperação calor/forno | -89,94 | 3,81% |
| Têxtil | Outras | -88,60 | 3,82% |
| Química | Recuperação calor/forno | -85,95 | 4,33% |
| Ferro-ligas | Recuperação calor/forno | -83,40 | 4,43% |
| Cimento | Otimização da Combustão | -79,72 | 4,54% |
| Mineração | Recuperação calor/forno | -78,07 | 5,27% |
| Cimento | Reciclagem | -68,34 | 5,48% |
| Cimento | Recuperação calor/forno | -64,24 | 6,47% |
| Química | Energia Solar Térmica | -63,04 | 7,15% |
| Bebidas e Alimentos | Cogeração | -55,86 | 8,89% |
| Siderurgia | Reciclagem | -54,81 | 9,79% |
| Siderurgia | Otimização da Combustão | -49,86 | 10,97% |
| Siderurgia | Recuperação calor/forno | -44,89 | 13,43% |
| Siderurgia | Outras | -31,01 | 13,82% |
| Cerâmica | Reciclagem | -24,32 | 14,20% |
| Siderurgia | Cogeração | -2,70 | 14,31% |
| Siderurgia | Substituição Biomassa Não Renovavel | -1,73 | 21,60% |
| Papel e Celulose | Cogeração | -0,44 | 21,70% |
| Bebidas e Alimentos | Substituição Fóssil por Biomassa | 6,07 | 21,81% |
| Papel e Celulose | Substituição Fóssil por Biomassa | 11,65 | 21,91% |
| Siderurgia | Substituição Fóssil por Biomassa | 19,17 | 23,98% |
| Têxtil | Substituição Biomassa Não Renovavel | 39,16 | 24,14% |
| Bebidas e Alimentos | Substituição Biomassa Não Renovavel | 42,60 | 26,17% |
| Cerâmica | Substituição Biomassa Não Renovavel | 42,60 | 29,06% |
| Refino | Sistema de Recuperação de calor | 44,06 | 30,10% |
| Química | Substituição Biomassa Não Renovavel | 45,11 | 30,11% |
| Siderurgia | Novos processos | 55,83 | 32,48% |
| Ferro-ligas | Substituição Biomassa Não Renovavel | 58,70 | 33,25% |
| Cimento | Substituição Biomassa Não Renovavel | 61,61 | 33,52% |
| Não-ferrosos | Substituição Biomassa Não Renovavel | 61,61 | 33,53% |
| Não-ferrosos | Substituição GN | 142,87 | 33,65% |
| Têxtil | Substituição GN | 150,03 | 33,66% |
| Siderurgia | Substituição GN | 154,07 | 33,68% |

| | | | |
|---------------------|-----------------|--------|--------|
| Cimento | Substituição GN | 157,33 | 33,69% |
| Ferro-ligas | Substituição GN | 164,43 | 33,70% |
| Papel e Celulose | Substituição GN | 204,16 | 33,78% |
| Bebidas e Alimentos | Substituição GN | 293,20 | 33,85% |
| Cerâmica | Substituição GN | 418,54 | 33,90% |
| Mineração | Substituição GN | 533,62 | 34,17% |
| Refino | Outras | 612,44 | 34,45% |
| Química | Substituição GN | 959,29 | 34,80% |

Fonte: Seroa da Motta e Castro (2011)

Como se pode observar, dentre os 34,8% das emissões passíveis de serem abatidas, 21,7% apresentam custos negativos, ou seja, receitas. Entretanto, a existência de custos excessivamente negativos aponta para possíveis ineficiências na incorporação de todos os custos e barreiras para que se implementem de fato as medidas que supostamente geram receitas. Essas medidas são comumente chamadas de medidas “sem arrependimento”, ou, *non-regret options* e a frequência com que as MACC costumam observá-las passou a ser chamada de “efeito McKinsey”, uma vez que as MACC apresentadas pela instituição motivaram o debate acerca das suas possíveis ineficiências (SEROA DA MOTTA e CASTRO, 2011 p. 4).

Alguns destes custos e barreiras que podem estar sendo negligenciados, são, segundo Seroa da Motta e Castro (2011):

1) Barreiras técnicas tais como: a dependência da trajetória, de forma que os custos dependem das ações intertemporais de abatimento do setor; a heterogeneidade entre as firmas, que faz com que um custo médio não se aplique a firmas que se distanciam muito da média; e o efeito de compensação entre as melhoras de eficiência energética que diminuem os custos destes serviços e um consequente aumento na sua demanda.

2) Barreiras de mercado, tais como: incerteza de mercado, por exemplo com relação aos preços futuros dos energéticos; inércia dos tomadores de decisões que possuem *network* em torno da tecnologia já utilizada, com funcionários que sabem operá-la, serviço de manutenção etc.

3) Falhas de mercado, tais como: informação incompleta e assimétrica; barreiras de financiamento já que tende a existir um descompasso entre prazo de investimento e prazo de retorno e firmas menores podem não ter acesso a capital para isso; custos de agência, que se dá indivíduo que adota uma tecnologia não é o mesmo que se beneficia dela; e comportamento, caracterizado pelo fato de que se os custos unitário de energia estiverem baixos, a economia de energia não caracterizará incentivo suficiente para que se decida investir.

Percebe-se então que, apesar de custos negativos apresentarem possíveis receitas e serem, por esta razão, mais atrativos em tese, existem questões exógenas aos cálculos que tornam a adoção destas medidas menos factível. As medidas com custos excessivamente negativos apresentam ainda potenciais de abatimento muito baixo, e o mesmo acontece com as medidas com os custos mais altos. Isso faz com que ambas as regiões do gráfico com mais baixos e mais altos custos sejam as de menos provável implementação, sendo a região central do gráfico a que concentra maiores possibilidades, com baixos custos e grandes potenciais de mitigação de emissões. Pode-se também observar que a região central desta curva contém os setores identificados pelos estudos para uma economia de baixo carbono no Brasil: siderurgia, cimento e química.

Conclusão

O objetivo deste trabalho era apresentar a problemática do abatimento de emissões de gases de efeito estufa na economia, e, mais especificamente, na indústria brasileira. O estudo pretendeu explicitar quanto custa mitigar emissões no setor industrial

no país; em que segmentos e sob a forma de quais tecnologias de fato vale a pena adotar esforços; e quais os problemas que se encontram na mensuração destes custos. Para tal, o instrumento utilizado foram curvas de custos marginais de abatimento, as MACC.

Os dados para a análise realizada foram provenientes do trabalho do chefe da divisão de energia do INT, Maurício Henriques Jr., durante a construção do “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil” (BANCO MUNDIAL, 2010a e 2010b), e da sua tese de doutorado pela COPPE/UFRJ (HENRIQUES JR., 2010). O autor realizou os cálculos dos custos marginais de abatimento para cada segmento industrial e para cada medida de mitigação utilizando os segmentos escolhidos pelo BEN, incluindo, porém, o refino de petróleo. Para tal, foram estabelecidos um cenário tendencial e um cenário de baixo carbono no período de 2010 a 2030, de cuja comparação se obteve os resultados dos custos adicionais que as medidas de baixo carbono representam. Ordenando-se estes custos do mais baixo ao mais alto, foi possível construir uma MACC para a indústria brasileira.

Os resultados indicam que as maiores possibilidades de abatimento de gases de efeito estufa na indústria brasileira estão nas medidas de eficiência energética, em especial no setores siderurgia e cimento, uma vez que se encontram a custos críveis e com bom potencial de abatimento. Existem medidas de setores com custos excessivamente negativos, que tendem a refletir falhas de incorporação de custos, e outros excessivamente altos representados pela substituição energética para o gás natural e de biomassa não renovável.

Como colocado no Capítulo I, considerando a agenda internacional para contenção das mudanças climáticas globais, com a problemática colocada pelo IPCC, há um esforço geral neste sentido, em que o Brasil, na condição de economia emergente, deve se incluir. Como signatário do Protocolo de Kyoto, porém não incluído no Anexo I, o país possui metas voluntárias de abatimento de emissões de GEE, e está entre os cinco países do mundo que mais emitem, mas também entre os países com maior potencial de abatimento (MCKINSEY & CO, 2009).

Na Seção 1.2, apresentaram-se as MACC como instrumento de identificação de oportunidades de abatimento em uma economia, uma vez que demonstram a importância dos diferentes setores, regiões e medidas de abatimento, apresentando uma base concreta de custos. E, como visto na Seção 1.3, os estudos realizados para a economia brasileira apontam que os seus principais setores emissores são o setor florestal, através do desmatamento e do uso da terra; e os setores de transportes e a indústria através, majoritariamente, da queima de combustíveis fósseis na geração de energia. E as curvas MACC construídas para a economia nacional apontaram baixos custos. McKinsey & Co. (2009a) identificou 82% do potencial total de abatimento a custos médios inferiores ou iguais a €10/tCO₂ e o Banco Mundial (2010a) atribuiu a 65% deste potencial custos negativos, ou seja, medidas que se implementadas geram receita.

Conforme o Capítulo II, a indústria nacional teve desenvolvimento tardio e se deu através de políticas como o Plano de Metas e o II PND, que visavam a substituição de importações e a industrialização rápida, de forma que acabou por se especializar em setores poluentes. Apesar da abertura comercial do país na década de 1990 e a consequente exposição da sua indústria à concorrência internacional, o consumo de combustíveis fósseis pela indústria brasileira continuou muito alto.

Pode-se portanto notar que a indústria brasileira, com um histórico de desenvolvimento em bases poluidoras, está entre os setores-chave de um país-chave para a contenção do aquecimento global. E assim, a MACC industrial brasileira faz-se útil à medida que apresenta uma base de custos, explicitando a importância dos diferentes segmentos produtivos e das diferentes medidas de mitigação dentre as decisões a serem tomadas para mitigar emissões de GEE no país.

Recomenda-se, para maior aprofundamento, a leitura de trabalhos como Henriques Jr. (2010), no que tange os cálculos dos custos marginais de abatimento para a indústria brasileira; Seroa da Motta e Castro (2011), Ekins et. al (2011), e Hourcade et. al (2006) para maiores informações sobre os problemas que se encontram na construção das curvas MACC.

Referências Bibliográficas

- ABIA, 2008. *Associação Brasileira da Indústria de Alimentos*. Disponível em: <http://abia.org.br> Acesso em: 19/03/2012
- ABIQUIM, 2009 - Associação Brasileira da Indústria Química. disponível em: <http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain&pag=conc> Acesso em: 10/12/2010.
- ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em: http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=1&id_sub=4&idioma=PT Acesso em: 20/03/2012.
- ABRAFE - Associação Brasileira de Produtores de Ferro Ligas. Disponível em: <http://www.abrafe.ind.br/externior.htm> Acesso em: 20/03/2012.
- ABBUD, O. A.; TANCREDI, M., 2010. *Transformações Recentes da Matriz Brasileira de Geração de Energia Elétrica – Causas e Impactos Principais*. Centro de Estudos da Consultoria do Senado, Texto para Discussão 69, Março, 2010.
- ANDA, 2009 - Associação Nacional para Difusão de Adubos. *Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes*, 2009.
- BANCO MUNDIAL, 2010a. *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Washington, 2010.
- BANCO MUNDIAL, 2010b. *Emissões do Setor da Indústria - Tema O, Relatório Técnico*. Washington, 2010.
- BOHRINGER, C. The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling. *Energy Economics*, v. 20, n. 3, p. 233-248, 1998.

- BOHRINGER, C.; RUTHERFORD, T. F. Combining bottom-up and top-down. **Energy Economics**, v. 30, n. 2, p. 574-596, 2008.
- BRACELPA, 2010. *Associação Brasileira de Celulose e Papel*. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 29/10/2010.
- BRASIL. Lei nº 12.187/2009 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional Sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição Extra, 29 dez. 2009 p.109.
- BRASIL, 2007. **Plano Nacional de Energia – PNE 2030** / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- BRASIL, 2008. Ministério de Minas e Energia - Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - **PRODUTO 37: CADEIA DO ALUMÍNIO, Relatório Técnico 62: Perfil do Alumínio**.
- BRASIL, 2009a. Ministério de Minas e Energia - Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - **PRODUTO 43: CADEIA DA CERÂMICA DE REVESTIMENTO, Relatório Técnico 69: Perfil da Cerâmica de Revestimento**.
- BRASIL, 2009b. Ministério de Minas e Energia - Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - **PRODUTO 34: CADEIA DE FERROLIGAS, Relatório Técnico 60: Perfil de Ferroligas**.
- BRASIL, 2009c. Ministério de Minas e Energia- Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – **PRODUTO 68: PERFIL DO CIMENTO**.
- BRASIL, 2010a. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética **Plano Decenal de Expansão de Energia 2019** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2010.

- BRASIL, 2010b. ***Balanço Energético Nacional – base 2010***. Empresa de Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia – MME. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 10/03/2012.
- BRASIL, 2010c. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética - ***Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa***/ Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília: MCT, 2010.
- BRASIL, 2010d. Ministério de Minas e Energia. ***Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030)***. Brasília: MME, 2010 .
- EKINS, P.; KESICKI, F.; SMITH, A. Marginal Abatement Cost Curves: a call for caution. 2 abr 2011.
- HENRIQUES JR. M.F., 2010. ***Potencial de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo uso de energia no setor industrial brasileiro***. Tese de Doutorado, COPPE/PPE, 2010.
- HOURCADE et. al, 2006. *Hybrid Modelling: New Answers to Old Challenges. The Energy Journal 2*, Special issue (2006) 1-12
- IBGE, 2005. ***Matriz de Insumo-Produto: Brasil 2000/ 2005*** - IBGE. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/matrizinsumo_produto.shtm Acesso em: 26/04/2010.
- IBS, 2009. Instituto Brasileiro de Siderurgia. ***Relatório de sustentabilidade***. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/> Acesso em: 19/10/2010.
- IBS, 2010. Instituto Brasileiro de Siderurgia. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/> Acesso em: 19/10/2010.
- IPEADATA com base nas Contas Nacionais (IBGE). Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/> Acesso em: 10/04/2012.
- MCKINSEY, 2009a. ***Caminhos Para Uma Economia de Baixa Emissão de Carbono no Brasil***. McKinsey & Company, 47p.
- MCKINSEY, 2009b. ***China's Green Revolution – prioritizing Technologies to***

- achieve energy and Environmental Sustainability*. McKinsey and Company, 140p.
- MCKINSEY, 200c. *Environmental and Energy Sustainability: An approach for India*. McKinsey and Company, 90p.
 - MCKINSEY, 2009d. *Pathways to a Low Carbon and Energy Efficient Russia: Opportunities to increase energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions*. McKinsey and Company, 134p.
 - SCHAEFFER, R. et. al, 2010. *Sistema Brasileiro de Cap-And-Trade no Setor Industrial: Vantagens, Desafios, Reflexos na Competitividade Internacional e Barreiras à Implementação*. PPE/COPPE/UFRJ.
 - SEBRAE, 2008. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM: *Cerâmica Vermelha, Relatório Completo*.
 - SEROA DA MOTTA, R. e CASTRO, L., 2011. *Simulating Carbon Market in Brazil*. IPEA, Rio de Janeiro, 09/2011.
 - SNIC, 2010. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Relatório Anual, 2010. Disponível em: <http://www.snic.org.br/25set1024/abre.asp?pagina=numeros> Acesso em: 22/03/2012
 - SUZIGAN, W., 1988. Estado e industrialização no Brasil. **Revista de Economia Política** v.8 n.4 p.5-16.
 - SUZIGAN, W., FURTADO, J., 2006. “Política Industrial e Desenvolvimento”. *Revista de Economia Política* 26 (2), 169-179.
 - UNEP/GRID-Arendal, 2008. *Kick the Habit: An UN Guide to Climate Neutrality*. Progress Press ltd, Malta, 202 p.
 - VALE. Disponível em: <http://www.vale.com/Util/landing/default.htm> Acesso em: 10/04/2012
 - VERSIANI, F. R., 1984. Industrialização: a década de 20 e a depressão. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 14, n. 1, p.59-93 IPEA, Rio de Janeiro, Abril 1984.

